



Universidad Católica Andrés Bello
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales
Escuela de Economía

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y SOCIALES

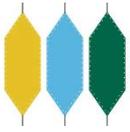
ESCUELA DE ECONOMÍA

**VALORACIÓN DE RIESGO DE LOS BONOS VENEZOLANOS
DENOMINADOS EN MONEDA EXTRANJERA CON MÉTODOS DIVERSOS
DE ESTIMACIÓN DE CURVAS DE RENDIMIENTO**

Tutor: Ramiro Molina

Andrés Ortuño

Caracas, octubre de 2014



AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

A mis padres, por brindarme oportunidades.

A Alessandra, Javier, Gustavo, Nelson y Romina, por siempre estar ahí cuando más los necesité.

A mi familia de NMUN, por tantas experiencias, mis mejores recuerdos quedan ahí.

A Ramiro Molina, modelo, guía y apoyo que hizo posible este trabajo.

“No es cuestión de suerte, es cuestión de actitud”.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 HIPÓTESIS	17
<u>CAPÍTULO 2: NOCIONES DE RENTA FIJA</u>	18
2.1 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE RENTA FIJA	18
2.2 VALORACIÓN DE BONOS	21
2.3 <i>DURATION</i> Y SENSIBILIDAD	23
2.4 <i>SPREADS</i>	27
3.1 TEORÍAS SOBRE EXPLICACIÓN DE COMPORTAMIENTO	29
3.2 FORMAS DE LA CURVA DE RENDIMIENTO	32
3.3 FACTORES QUE AFECTAN LA CURVA DE RENDIMIENTO	33
3.4 MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA CURVA DE RENDIMIENTO	36
3.4.1 MODELOS PARAMÉTRICOS	37
3.4.1.1 Nelson-Siegel	37
3.4.2 MODELOS NO-PARAMÉTRICOS	47
3.4.2.1 Splines Suavizados	47
<u>CAPÍTULO 4: MERCADO DE DEUDA EXTERNA VENEZOLANA</u>	51



4.1 EVOLUCIÓN DEL MERCADO DE DEUDA EXTERNA VENEZOLANA	51
4.2 DESEMPEÑO DE LOS BONOS VENEZOLANOS	55
<u>CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO</u>	<u>64</u>
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
5.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>84</u>



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Formas de la Curva de Rendimientos. Fuente: vivirdeltrading.com. Elaboración Propia.</i>	33
<i>Figura 2. Signos de los parámetros y forma de la curva de rendimientos bajo Nelson-Siegel. Fuente: Maita, 2010. Elaboración Propia.</i>	40
<i>Figura 3. Formas de la curva de rendimientos según Nelson-Siegel. Fuente: Nelson y Siegel, 1987.</i>	42
<i>Figura 4. Curva de Rendimientos Nelson-Siegel. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	43
<i>Figura 5. Curva de Rendimientos Svensson. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	46
<i>Figura 6. Curva de Rendimientos Splines Suavizados. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	50
<i>Figura 7. Saldo de deuda externa de Venezuela. Fuente Oficina Nacional de Crédito Público. Elaboración Propia.</i>	52
<i>Figura 8. Curvas de Rendimiento PDVSA en tres momentos de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	54
<i>Figura 9. Comportamiento histórico del precio del Bono Venezuela 2025. Fuente: Bloomberg. Elaboración Propia.</i>	57
<i>Figura 10. Curva de rendimientos Svensson para Bonos Venezuela 19-07-2014. Fuente: Boungy. Elaboración Propia.</i>	58
<i>Figura 11. Comportamiento histórico del bono PDVSA 2027. Fuente: Bloomberg. Elaboración Propia.</i>	60
<i>Figura 12. Curva de Rendimiento Svensson Venezuela 15-09-2014. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	63
<i>Figura 13. Tabla Resumen para los Bonos Soberanos. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	67
<i>Figura 14. Tabla Resumen para Bonos PDVSA. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.</i>	69
<i>Figura 15. Curvas de rendimiento Venezuela 26 de febrero de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.</i>	72
<i>Figura 16. Curvas de rendimiento PDVSA 26 de febrero de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.</i>	74
<i>Figura 17. Curvas de rendimiento Venezuela 9 de julio de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.</i>	75
<i>Figura 18. Curvas de rendimiento PDVSA 9 de julio de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.</i>	76



*Figura 19. Curvas de rendimiento Venezuela 15 de octubre de 2014. Fuente: Cálculos y
Elaboración propia. 78*

*Figura 20. Curvas de rendimiento PDVSA 15 de octubre de 2014. Fuente: Cálculos y
Elaboración propia. 79*

*Figura 21. Curvas de rendimiento Svensson Venezuela y PDVSA 17 de septiembre de 2014.
Fuente: Cálculos y Elaboración propia. 81*

ÍNDICE DE TABLAS

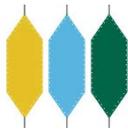
Tabla 1. Modelos de estimación de la curva de rendimientos. Fuente: Elaboración Propia..... 36

Tabla 2. Bonos Soberanos. Fuente: Boungy. Elaboración Propia..... 53

Tabla 3. Bonos PDVSA. Fuente Boungy. Elaboración Propia..... 54

*Tabla 4. Comportamiento mensual del Bono Venezuela 2034. Fuente: Bloomberg. Elaboración
Propia 61*

*Tabla 5. Comportamiento mensual del Bono Venezuela 2016. Fuente: Bloomberg. Elaboración
Propia. 61*



CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

Los mercados financieros se caracterizan por: 1) un gran número de participantes, 2) un gran número de fuentes de información y 3) diferentes percepciones del mercado. Esta última característica es el *output* final de una serie de interacciones entre el inversionista y la información disponible para enfrentarse al mercado. Los inversores siempre buscan la manera de procesar esa información —de la mejor manera posible dentro de su parecer— pero humanamente es una tarea compleja. No sólo la información meramente financiera puede tener repercusiones en los mercados, incluso declaraciones que puedan parecer banales pueden tener consecuencias en los mercados financieros a través de las percepciones de los agentes participantes.

Los mercados financieros están compuestos por mercados de renta variable y mercados de renta fija. La diferencia más notoria entre ambos es que en los mercados de



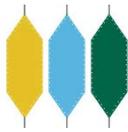
renta variable los inversionistas buscan ganancias de capital y en los mercados de renta fija usualmente buscan ganancias corrientes.

Las ganancias de capital son producto de la variación del precio sobre el título obtenido, es decir; un inversionista que compró una acción esperará recibir ganancias por el alza en el precio de la acción que posee (éste sería el ejemplo de una operación de compra o posición larga¹ en el mercado). Mientras que cuando el inversionista posee un derecho a la venta de un título, éste obtendrá ganancias a medida que el valor nominal del título sea menor (éste es el ejemplo de una posición corta²).

Por el contrario, un inversionista que busca ganancias corrientes tiene incentivos para entrar en los mercados de renta fija, en los cuales el título lleva consigo un cupón pagadero periódicamente y, al momento del vencimiento, el inversionista recibirá el monto inicial de su inversión. Sin embargo, es importante destacar que los instrumentos de renta variable también pueden ofrecer ganancias corrientes a través de los dividendos distribuidos entre los tenedores de los títulos del respectivo emisor.

¹ Cuando el inversionista tiene expectativas que el valor nominal del título aumentará en el futuro, entonces éste tomará una posición larga.

² Cuando el inversionista tiene expectativas de que el título bajará de valor nominal. El concepto detrás de la definición es la figura de alquilar el título a quienes los tienen, venderlas a un valor alto en el presente y volverlas a comprar luego. El inversor espera tener ganancias a partir de la hipoteca de la acción ya que ganará la misma cantidad de valores que tomó prestados pero no el mismo valor monetario.



Los mercados de renta variable y renta fija suelen diferenciarse por los títulos que operan dentro de ellos. Las acciones de compañías y los *exchange traded funds* (ETF)³ son característicos de los mercados de renta variable, mientras que los títulos de deuda o bonos de países o compañías son inherentes a los mercados de renta fija.

El presente trabajo se enfocará en los mercados de renta fija, en especial el de deuda externa de Venezuela. Los mercados de deuda externa suelen ser atractivos para los inversionistas, ya que al tratarse de países, la información respectiva y disponible es más sencilla de asimilar por el inversor y de mantener un seguimiento más cercano, al menos en principio.

Los títulos que componen el mercado de deuda externa de Venezuela son los ofrecidos por el gobierno de la República Bolivariana de Venezuela y por la estatal petrolera, Petróleos de Venezuela S.A (PDVSA). Este mercado ha tomado gran relevancia en los mercados internacionales por los altos cupones ofrecidos, la cantidad de emisiones y montos involucrados y por tratarse de un país petrolero. Es imperativo destacar que el desempeño de los títulos de deuda emitidos por un país o sus entes descentralizados (en este caso Venezuela y PDVSA respectivamente) no siempre guardan correlación con el desempeño económico o social del país emisor. Es por esto

³ Es un fondo cotizado en bolsa (Exchange Traded Funds) con características de fondos de capital variable que recoge información de un índice de las acciones de un fondo de inversión. Un ETF busca reproducir un determinado índice bursátil. No son vendidos por las compañías sino por estructuradores en las bolsas de valores. Los ETF se transan de igual forma que una acción en la bolsa. Sin embargo, el desempeño del índice afecta el precio del ETF.



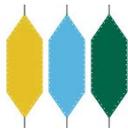
que no basta con conocer y comprender la complejidad del emisor, sino todo lo relacionado al mercado de deuda externa en un sentido amplio.

Existen herramientas que buscan simplificar el proceso de toma de decisiones del inversor sin necesidad de que éste asimile toda la información disponible en el mercado. La curva de rendimiento es la herramienta gráfica más usada por los inversores de renta fija y el tema central de este trabajo. Sin embargo, dentro de ella coexisten diferentes metodologías y cálculos que pueden hacer variar nuevamente la decisión del inversor.

Como en todo mercado, existen riesgos asociados a la inversión. Podemos definir al riesgo como la incertidumbre asociada con el valor futuro que tendrá un determinado activo del cual se dispone. En términos generales, el riesgo es un concepto asociado a la probabilidad de ocurrencia de un evento. Dentro de los mercados de renta fija podemos destacar el riesgo de emisor, el riesgo de crédito, e inclusive el riesgo de pérdida de la calidad crediticia. El primero está vinculado a la transacción de activos financieros en los mercados primarios⁴ o secundarios⁵ y se puede definir como el riesgo de contrapartida que presenta la eventualidad de que un emisor no cumpla con las obligaciones previamente contraídas en sus títulos. Este riesgo incluye un impacto desfavorable en el valor del instrumento en el mercado. Un deterioro en la percepción

⁴ Los Mercados Primarios son mercados donde se negocian las primeras emisiones de los títulos valor, para efectos de este trabajo son los bonos.

⁵ Los Mercados Secundarios son mercados donde se renegocian los títulos valor emitidos en el mercado primario.



del mercado acerca de la capacidad financiera del emisor, así como la calidad crediticia, los beneficios actuales y esperados del emisor, pueden generar el riesgo de emisor.

Por su parte, el riesgo de crédito es el riesgo de pérdida derivado de la toma de posiciones sobre un título cuyo valor se ve afectado por la valoración que el mercado hace en cada momento de la solvencia de la contraparte en el cumplimiento de sus obligaciones. Dentro de éste, existe el riesgo de la pérdida de la calidad crediticia, el cual es generado por el empeoramiento de la calificación crediticia, lo cual aumenta la probabilidad de que el emisor incumpla con sus obligaciones.

El *Z-Spread* es la medida de riesgo más utilizada por los inversores de renta fija. Esta medida le aclara al inversionista el valor que éste debe agregar a cada punto de la curva de rendimientos, es decir; cuánto rendimiento extra debe considerar para cada bono dentro de la curva, con el objetivo de hacer al valor presente del bono igual al valor presente de un título libre de riesgo.

El presente trabajo de grado busca examinar las diferentes metodologías de estimación de la curva de rendimientos aplicadas para el caso venezolano. Para ello, se procederá a calcular la curva de rendimientos bajo metodologías paramétricas y no paramétricas. Para comparar estos modelos, más allá de su cálculo y formalización, buscaremos calcular el *Z-Spread* y de ésta, una medida de riesgo la cual servirá como



indicador de los diferentes resultados que arrojará el cálculo de la curva de rendimiento por diferentes metodologías.

En primer lugar es imperativo repasar lo referente al mercado de renta fija, al igual que analizar al emisor. Los capítulos 2 y 4 analizan estos temas de manera exhaustiva mediante una examinación del panorama de los bonos venezolanos (República y PDVSA), mientras que el capítulo 3 introduce el concepto de curva de rendimiento. En análisis de la curva de rendimiento es el punto de partida para explicar las teorías sobre el cálculo y la forma de ésta.

El capítulo cuarto hizo una revisión del desempeño de los bonos denominados en moneda extranjera emitidos por Venezuela y PDVSA, además de una explicación de los antecedentes que promovieron el debut de Venezuela en los mercados internacionales de renta fija. El capítulo quinto demuestra empíricamente el procedimiento de cálculo, formalización y comparación de las diferentes metodologías y las conclusiones del trabajo.

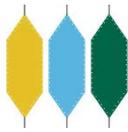


1.2 Justificación de la investigación

La curva de rendimiento se ha convertido en la herramienta de análisis principal de los inversionistas de renta fija. Su estudio y análisis es de inmensa relevancia para este mercado, en el que los agentes intentan tomar la mejor decisión de inversión. Más allá de los conceptos de riesgo de emisor y de crédito, previamente mencionados, el concepto de curva de rendimiento está asociado a términos que tienden a confundirse, como el riesgo soberano y el riesgo país.

El riesgo soberano se refiere a la capacidad de pago de un gobierno soberano, riesgo que se materializa si el gobierno no puede pagar debido a que el valor presente se ve en la imposibilidad de cumplir con la deuda, debido a que el valor presente de la deuda excede el valor presente de sus ingresos. Entre tanto el riesgo país se refiere a la capacidad de pago de un país como un todo. (Rangel, 2012, p. 10).

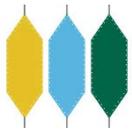
En la práctica los agentes deducen una medición del riesgo a través de un *spread* soberano que se calcula como “la diferencia expresada en puntos básicos (pb o pbs), entre las tasas de rentabilidad de los bonos emitidos por el departamento del tesoro norteamericano y los bonos emitidos por otra nación denominados en dólares” (Babone



y Forni, 1997, p. 8). La razón para elegir como punto de referencia los Bonos del Tesoro de los Estados Unidos radica en su concepción como una tasa libre de riesgo (Edwards, 1986, p. 565-589). En este trabajo analizaremos el cálculo de la curva de rendimiento, para luego calcular el *Z-Spread*, que nos permitirá ver la diferencia, en puntos básicos, entre un nivel de la curva de rendimiento y una curva de mercado o *benchmark*.

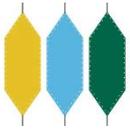
Investigaciones realizadas por Chirinos y Moreno (2011) para el Banco Central de Venezuela (BCV) habían determinado los parámetros estimados para la curva de rendimiento y la respectiva explicación e influencia de cada uno sobre 10 títulos de deuda externa, con cupones fijos, únicamente denominados en dólares de los Estados Unidos. La investigación mencionada compara las metodologías de Nelson-Siegel, Svensson y Vasicek. Santana en 2008 realizó una investigación que buscaba comparar una serie de metodologías para el caso colombiano. En esta investigación, Santana (2008) comparó las metodologías de estimación de curva de rendimiento con base en su bondad de ajuste.

Miriam Maita (2010) representa la curva de rendimientos de deuda interna venezolana por las metodologías Nelson-Siegel y Svensson. Maita (2010) hace una comparación en base a la forma de la curva en diferentes momentos dentro de su estudio. Por su parte, el Banco de la República de Colombia, en un trabajo de investigación desarrollado por Julio, Mera y Herault (2002) se utiliza el método de *Splines* para estimar la curva de rendimientos para el caso colombiano.



En 2012 Aljinovic, Poklepovic y Katalinic representan las metodologías Nelson-Siegel y Svensson para el caso de Croacia, con periodicidad semanal con la intención de comparar sus resultados en base a su coeficiente de correlación. Los resultados obtenidos aclararon que el modelo Svensson era el más apropiado para ajustar la curva de rendimientos.

La razón principal de realizar este trabajo radica en cubrir tres áreas fundamentales y de interés para los inversores de renta fija, en especial a los tenedores de bonos de Venezuela y PDVSA, denominados en moneda extranjera. En primer lugar, busca dar un sentido formal y empírico a la estimación de la curva de rendimiento. En segundo lugar, busca describir el entorno que existe detrás de esos títulos de deuda pública denominada en moneda extranjera y por último, desea servir como indicador de riesgo, con aras a ser una herramienta para el proceso de decisión de los inversores.



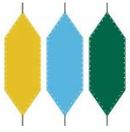
1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Comparar los modelos paramétricos y no paramétricos de la curva de rendimiento para el caso de los bonos venezolanos denominados en moneda extranjera.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Describir lo referente al mercado de renta fija en general.
2. Describir al mercado de deuda externa venezolana y su importancia para el estudio.
3. Describir las diferentes teorías paramétricas y no-paramétricas de estimación de la curva de rendimiento.



4. Calcular la curva de rendimiento de los bonos venezolanos denominados en moneda extranjera por los modelos paramétricos y no paramétricos y comparar sus metodologías.
5. Calcular, a modo de comprobación, el *Z-Spread* en los diferentes modelos de estimación de la curva de rendimiento.

1.4 Hipótesis

“Calcular la curva de rendimiento de Venezuela, por diferentes metodologías nos llevará a diferentes valoraciones del riesgo de los bonos venezolanos”



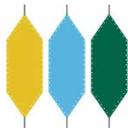
CAPÍTULO 2: NOCIONES DE RENTA FIJA

2.1 Fundamentos básicos de Renta Fija

Siguiendo a Gitman y Joehnk “Los títulos de renta fija constituyen un instrumento de inversión que ofrece unos pagos periódicos fijos”. Estos autores también aclaran que “las principales formas de títulos de renta fija son los bonos, acciones preferentes y la deuda convertibles” (Gitman y Joehnk, 2005, p. 10). En este trabajo de grado nos centraremos en los títulos de renta fija denominados bonos.

Un bono es un título de deuda a largo plazo⁶, estos pueden ser emitidos por empresas o gobiernos –en el caso venezolano los grandes emisores son la estatal petrolera PDVSA y el Gobierno de la República Bolivariana de Venezuela– donde los

⁶ Un instrumento de deuda será considerado un bono cuando el plazo sea mayor a un año.



tenedores de estos títulos de deuda recibirán por parte del correspondiente emisor ingresos corrientes de acuerdo a la tasa de interés previamente fijada.

Los títulos de renta fija (bonos para efectos de este trabajo) tienen un valor nominal y un valor efectivo, siguiendo a la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNMV) de España, en su publicación “Guía informativa de la CNMV: Qué debe saber de los productos de renta fija” (2006) define al ‘precio efectivo’ como el precio de cada valor en el momento de la suscripción. Normalmente éste coincide con el valor nominal, aunque en algunos casos puede ser inferior o superior, según se emita con descuento o con prima. El valor nominal o facial es el monto del capital que el emisor se compromete a pagar al vencimiento del bono y el valor efectivo es el monto de la transacción cuando se negocia un bono según su precio y los intereses generados a un momento determinado (CNMV, 2006, p. 22).

La CNMV (2006) define al precio de reembolso como el que recibe el inversor en el momento de la amortización y, aunque suele coincidir con el valor nominal, a veces puede ser inferior o superior, figurando en todo caso en las condiciones de emisión. Por diferentes razones puede estar pactada la posibilidad de amortización anticipada, bien a opción del emisor o del inversor y, en ambos casos, puede ser total o parcial. Cuando está prevista una amortización parcial anticipada a opción del emisor, se realiza por sorteo o por reducción del nominal de los valores, afectando a todos los inversores. Si en



la fecha de amortización el emisor abona una cantidad superior al nominal de los títulos, la diferencia entre ambos es la prima de reembolso. (p. 22)

Al momento de su emisión un bono establece: 1) el vencimiento, 2) la tasa de cupón y su periodicidad de pago, 3) el valor emitido, 4) la divisa en la que estará denominado el título (dólares, euros, entre otros) y 5) la bolsa en la que se ejecutará la transacción.

El cupón de un bono es el importe de los pagos periódicos⁷ de intereses pactados en la emisión. Su importe se añade al valor del bono cuando se compra o vende en el mercado secundario con cotización ex cupón, el cual puede ser fijo o variable. Existen bonos que no pagan una tasa de interés periódica, sino que únicamente devuelven el capital en la fecha de vencimiento. Estos bonos son llamados bonos cupón cero y son vendidos a descuento, en los que se descuenta al inversor el importe del interés en el momento de la compra. Las Letras del Tesoro y los pagarés de empresa son de este tipo de activos.

⁷ Esta periodicidad puede ser trimestral, semestral o anual, según sea establecido por el emisor.



2.2 Valoración de bonos

Los inversionistas valorarán al instrumento de renta fija de forma diferente según sus preferencias por el riesgo, por un título en particular, o incluso un horizonte temporal. Sin embargo, existen características que van a diferir entre los bonos, la más importante es su valor, el cual estará en función a la suma del valor presente de los flujos de efectivo que se esperan recibir en el futuro. No obstante, un bono puede generar distintos flujos de efectivo como por ejemplo: pagos de cupones, los fondos recibidos por la reinversión de los cupones y el capital recibido en el caso en que el bono es vendido, tenga amortizaciones parciales de capital o venza, esto dependerá de las condiciones establecidas por el emisor. Como generalización, todos los flujos son descontados al presente, entonces el factor de descuento sería el siguiente:

$$V_0 = \sum_{t=1}^M \frac{FE_t}{(1+r)^t} = \frac{FE_1}{(1+r)^1} + \frac{FE_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FE_M}{(1+r)^M}$$

$V_0 =$ Precio del Bono

$FE_t =$ Flujos de efectivo

$M =$ Vencimiento

$t =$ Periodicidad de pagos del cupon

$r =$ Rendimiento del bono



La determinación de si un bono es vendido con prima, con descuento o se vende a la par se refiere al precio del bono, éste es expresado en porcentaje, tomando como base el 100%, que será su valor nominal, el cual puede ser mayor, menor o igual respectivamente. En conclusión, la determinación del valor de un bono viene dada por la relación entre la tasa de rendimiento (r), la tasa de cupón (C) y su precio en relación al 100% del valor del bono. Dejando las relaciones formalizadas de la siguiente manera:

$$C > r ; P > 100\% \rightarrow Prima$$

$$C < r ; P < 100\% \rightarrow Descuento$$

$$C = r ; P = 100\% \rightarrow Par$$

Podemos observar que a mayor rendimiento, menor será el precio. Asimismo, podemos observar que cuando la tasa de cupón es mayor al rendimiento el bono se venderá con prima, al ser menor se venderá con descuento y en el caso de ser iguales se tratará de un bono con valor par.

Al referirnos a la tasa de retorno que obtendrá el inversionista de su capital invertido, nos estaremos refiriendo al rendimiento del bono, el cual viene expresado en porcentaje. El rendimiento al vencimiento, o *Yield to Maturity (YTM)* es la medida de rendimiento más usada, ya que expresa la tasa interna de retorno que iguala el precio del bono a los flujos futuros de efectivo descontados al presente, es decir, $YTM = r$,



asumiendo que el tenedor conserva el bono hasta su vencimiento y que los flujos de efectivos generados son reinvertidos a una tasa igual a la *YTM*. Sin embargo, existen otras medidas que calculan el rendimiento como por ejemplo: el cupón, el rendimiento corriente, el rendimiento a descuento y el rendimiento al vencimiento modificado.

Otra medida importante dentro de la valoración de un bono es el *duration*, el cual toma en cuenta el riesgo de tasas de interés. Fabozzi lo define de la siguiente manera:

El duration es una medida de la sensibilidad aproximada del precio de un bono sobre cambios de la tasa de interés. Específicamente, es el porcentaje de cambio aproximado en el precio por cambios en las tasas de 100 puntos básicos (Fabozzi, 2005, p. 197).

2.3 Duration y Sensibilidad

Según Fabozzi (2005), existen elementos que afectan a la posición del inversor de renta fija, ya sea por sus preferencias sobre liquidez y horizonte temporal o debido a factores como la prima de riesgo. En esta sección nos centraremos en los conceptos de



duration y sensibilidad. Estos se utilizan para estimar las variaciones en los valores de los portafolios de bonos, medidos en puntos básicos.

El concepto y estudio del *duration* fue introducido por Frederick Robertson Macaulay⁸ en 1938, e indica la sensibilidad de los cambios relativos en el precio de un instrumento de renta fija ante cambios en la tasa de interés de mercado. El *duration* es medido en años, ya que proviene de la media ponderada de los plazos de vencimiento de los flujos de efectivo. En otras palabras, el *duration* mide cómo una variación en la tasa interna de retorno (TIR) afecta al precio del bono, con lo cual también es equivalente afirmar que el *duration* expresa el plazo medio de recuperación de la inversión, expresado en años (Macaulay, 1938).

La fórmula presentada por Macaulay se formaliza de la siguiente manera:

$$D = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{tQ_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}} = \frac{1}{P_0} \times \sum_{t=1}^n \frac{tQ_t}{(1+r)^t}$$

Donde P_0 es el precio de mercado del bono, Q_t es el flujo de caja del periodo, r es la tasa de rendimiento hasta el vencimiento y n es el número de años hasta el

⁸ Macaulay, F. (1938). *Some Theoretical Problems Suggested by the Movement of Interest Rates, Bond Yields, and Stock Prices in the U.S. Since 1856*. New York. National Bureau of Economics Research.



vencimiento. No obstante, esta formulación puede resultar complicada, es por eso que existen otras formas más simples de calcular el *duration*, obteniendo los mismos resultados. Es posible llegar a la siguiente expresión siempre y cuando los periodos de tiempo entre cupones sea un número entero:

$$D = \frac{1 + r}{r} - \frac{n(c - r) + (1 + r)}{c(1 + r)^n - (c - r)}$$

En esta expresión D es el valor del *duration*, n es el número de periodos hasta el vencimiento, c es el tipo de interés nominal del cupón y r es el rendimiento hasta el vencimiento del bono. Esta expresión permite calcular el *duration* de forma simplificada en comparación a la fórmula original de Macaulay y es la que tomaremos para calcular las metodologías de curvas de rendimiento en este trabajo.

Del cálculo del *duration* podemos concluir que:

- 1- El *duration* es menor o igual que el plazo al vencimiento el bono.
- 2- *Ceteris paribus* a mayor tiempo al vencimiento, mayor *duration*.
- 3- *Ceteris paribus* a menor cupón, mayor *duration*.
- 4- *Ceteris paribus* a mayor tasa de mercado se tiene menor *duration*.



A partir de los hallazgos de Macaulay, se construye un nuevo concepto con la intención de hacer más estrecha la relación entre volatilidad y *duration*. John Hicks en 1939 introduce el concepto de sensibilidad, *Modified Duration*⁹ (duración modificada) o Duración de Hicks, la cual es una medida de la sensibilidad del precio de un título de renta fija con respecto a los cambios en su rentabilidad. La sensibilidad es medida como un porcentaje que nos indica la variación que se produce en el precio de mercado de un activo financiero por cada punto de variación en los tipos de interés (Mascareñas, 2006, p. 23). Para su cálculo se necesita el *duration* de Macaulay y su formalización es descrita a continuación:

$$D^* = -\frac{1}{1+r} \times \frac{\sum_{t=1}^n \frac{tQ_t}{(1+r)^t}}{P}$$
$$D^* = \frac{D}{1+r}$$

Donde nuevamente P es el precio de mercado del bono, Q_t es el flujo de caja del periodo, r es la tasa de rendimiento hasta el vencimiento (anual, semestral) y n es el número de años hasta el vencimiento. “Una vez calculada la Duración Modificada de un instrumento, sabremos cuanto cambiará el precio cuando cambie el rendimiento en un monto específico –al menos por el tiempo que en que los supuestos del cálculo sean aun validos” (Hymas, 2007).

⁹ Véase Hymas, J. (2007). *Modified duration*. Canadian MoneySaver



2.4 Spreads

Dentro de los *Spread* Crediticios existen varias metodologías que son útiles al momento que el inversor se decante por un bono sobre otro. El término *Spread* se refiere a la diferencia que hay entre un instrumento y otro en términos de rendimiento. En los mercados de renta fija existen varias ‘anclas’ que los inversionistas utilizan precisamente para comparar su inversión en términos de rendimiento y costo de oportunidad.

Específicamente, indagaremos en el concepto de *Zero Spread* o *Z-Spread*, estático o cero volatilidad, el cual se refiere al número de puntos básicos (pb) que el inversor debe adicionar a la curva de rendimiento de los bonos del mercado o *Benchmark*. El *Z-Spread* utiliza toda la curva de rendimiento para valorar los flujos de efectivo lo que garantiza un resultado exacto del valor del instrumento. El *Z-Spread* es una metodología estática pues se basa en la diferencia de un determinado punto de la curva de rendimiento del mercado. Este *Spread* precisará los diferentes resultados a los que lleguemos luego de calcular los modelos de estimación de curva de rendimiento.

Se entiende entonces que el *Z-Spread* es simplemente el valor que debemos añadir a cada punto de la curva de rendimiento para hacer al valor presente de un instrumento



igual al valor presente de un instrumento libre de riesgo¹⁰. Entonces para calcular dicho valor, su formalización será tal que:

$$v_b = \sum_{t=1}^N \frac{C}{(1 + R_f(0, t) + z)^t} + \frac{FV}{(1 + R_f(0, N) + z)^N}$$

Donde, z es el valor del *Z-Spread*, v_b el valor del instrumento considerado riesgoso, FV es el valor facial del instrumento, t , los periodos hasta el vencimiento N , donde también $R_f(0, t)$ es el punto de la curva de rendimiento para el vencimiento en el periodo t . Cabe destacar que este es un método al que se llega por ensayo y error hasta que el valor presente de los flujos de efectivo sean equivalentes al precio del bono.

En este trabajo de grado calcularemos el *Z-Spread* para cada bono en estudio. La diferencia de la curva de rendimientos con su respectivo *Z-Spread* se sumará y se elevará al cuadrado para que posteriormente el promedio de esa suma se convierta en nuestro indicador de riesgo para las metodologías, el cual llamaremos Promedio Riesgo Z (PR-Z). Este indicador nos permitirá conocer una medida basada en riesgo con información de cada metodología.

¹⁰ Utilizaremos a los bonos del tesoro americano a 10 años como instrumento libre de riesgo.



CAPÍTULO 3: LA CURVA DE RENDIMIENTO

3.1 Teorías sobre explicación de comportamiento

La curva de rendimiento o estructura temporal de los tipos de interés (ETTI) sirve para explicar la razón por la cual los bonos de similar calidad crediticia, con el mismo nivel de riesgo y liquidez, tienen rendimientos diferentes. La curva de rendimiento se define como “...una herramienta analítica que permite la comparación de los distintos rendimientos de los instrumentos de corto plazo con aquellos de mediano y largo plazo” (Pedauga y Manzanilla, 2004, p. 3). Este instrumento se presenta de manera gráfica y es muy útil para comparar los rendimientos de bonos con similares características crediticias pero con vencimientos diferentes de un mismo emisor. Es imperativo destacar que la curva de rendimiento es una formulación válida en un momento determinado correspondiente a títulos de un emisor.



Podemos destacar tres teorías fundamentales que tratan de explicar a profundidad los factores que revelan los cambios en los rendimientos de los bonos: 1) La teoría de las Expectativas Puras 2) La teoría de la Preferencia por la liquidez 3) La teoría del Hábitat Preferido.

La teoría de las Expectativas Puras propuesta por Fisher (1896) y Hicks (1939), sostiene que la pendiente de la curva de rendimiento refleja sólo las expectativas de los inversionistas sobre las tasas de interés futuras de corto plazo (Fabozzi, 1996, p. 110).

El argumento de la teoría de las expectativas puras se debilita al considerar que todos los agentes en el mercado son neutrales al riesgo, demostrando así que no tiene en cuenta la noción de riesgo financiero. Los agentes, se asumen racionales, forman sus expectativas sobre la tasa de interés y haciendo uso de la información disponible, realizan sus estimaciones sobre las tasas *forward* (Daza Rivera, 2011, p. 8).

$$E_t(r_{t+n-p}, p) = f_{t+n-p}, p$$

Donde p es el vencimiento en el cual se evalúan las expectativas. Esta ecuación afirma que la expectativas sobre la tasa de interés en el periodo t , condicionada al conjunto de información disponible E_t , debe ser igual a la tasa *forward* estimada en ese mismo periodo.



La teoría de la Preferencia por la Liquidez propuesta por Hicks (1939) asevera que las tasas de interés de largo plazo reflejan las expectativas de los inversionistas sobre el futuro y la prima de riesgo por invertir a tan largo plazo, descontando así la incertidumbre que representa esa inversión. Esta teoría se basa en la teoría de las Expectativas Puras, añadiendo el concepto de la prima de riesgo, lo cual establece un grado de incertidumbre que dará sentido a la pendiente de la curva de rendimiento (Fabozzi, 2005).

La teoría del Hábitat Preferido¹¹, afirma que los inversores tienen preferencias por un vencimiento en particular, y al exceder ese horizonte temporal el inversionista incorporará una prima de riesgo adicional a la hora de adquirir el bono. Esta teoría también sostiene que los inversores van a preferir el corto plazo sobre el largo plazo, explicando así porqué las tasas de largo plazo son más altas que las de corto plazo. Esto es cierto en primera instancia, sin embargo, puede existir el caso en que las tasas de corto plazo sean mayores a las del largo plazo. (Modigliani y Sutch, 1967, pp. 569-589)

¹¹ Véase Modigliani F. and Sutch R. (1967). “*Debt management and the Term Structure of Interest Rate: and empirical analysis of recent experience*”, *Journal of Political Economy*, 75 p. 569-589.



3.2 Formas de la curva de rendimiento

La curva de rendimiento tomará diferentes formas según sea la percepción del mercado sobre ese bono. En esta sección no trataremos de ver cómo puede cambiar la curva sino cómo puede estar presentada. Estudios de curvas de rendimiento han apuntado 4 formas generales: 1) la curva de rendimiento normal o con pendiente ascendente, 2) con pendiente invertida o descendente, 3) la curva de rendimiento en forma de campana o *humped* y 4) la curva de rendimiento plana u horizontal.

Pedauga y Manzanilla (2004) afirman que una curva de rendimiento con pendiente ascendente se debe a un alza en las tasas de interés esperadas en el futuro, así esperando un mayor rendimiento para bonos con un vencimiento más lejano. Por el contrario, cuando los inversionistas esperan una reducción en las tasas de interés la curva de rendimientos tendrá una pendiente descendente, donde bajo esta forma evidenciamos que los rendimientos se espera sean mejores en el corto plazo. (pp. 4-5)

La curva de rendimiento con forma de campana no es tan usual en la práctica y es un error relacionarla directamente con el preludio de una recesión económica, mientras que una curva aplanada que describe una trayectoria horizontal puede relacionarse con una desaceleración económica, lo cual también puede representar un estado temporal que da paso a un cambio en la pendiente. (p.5)



En el siguiente gráfico se resumen las cuatro formas que puede presentar una curva de rendimiento. De una manera simplificada, podemos observar que el eje vertical describe a los rendimientos mientras que el eje horizontal a los vencimientos:

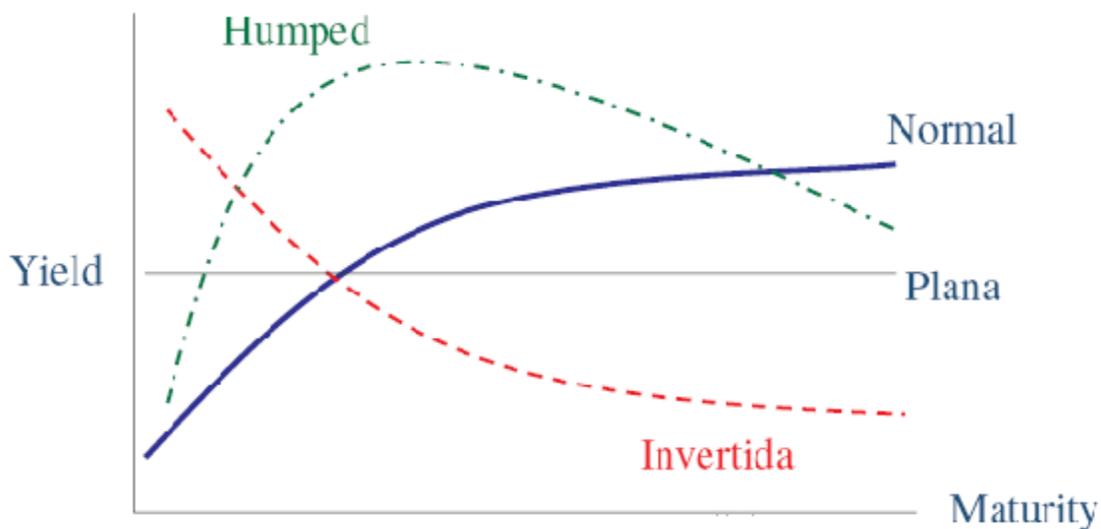


Figura 1. Formas de la Curva de Rendimientos. Fuente: vivirdeltrading.com. Elaboración Propia.

3.3 Factores que afectan la Curva de Rendimiento

Una vez comprendida la forma que puede tomar la curva de rendimiento es necesario entender qué factores pueden afectar la forma resultante. Dentro de los factores que pueden dar origen a diferentes formas de la curva de rendimiento, destacan tres principales fuerzas que moldearán a la curva de rendimiento mediante su influencia sobre la estructura temporal de las tasas de interés. Estas fuerzas actúan sobre la curva



de rendimiento de forma simultánea, lo cual hace que un buen análisis se base en la combinación de los factores, más no en el análisis de uno en particular. Estos factores son: 1) las expectativas del mercado, 2) las primas de riesgo sobre los bonos y 3) el sesgo de convexidad. (Fabozzi, 2005, p. 159)

Las expectativas modifican la decisión de un inversor a destinar fondos a un determinado activo. En los instrumentos de renta fija las expectativas sobre las variables macroeconómicas, actuaciones de los emisores o de entes relacionados que puedan afectar el rendimiento y precio del activo afectarán la decisión final a invertir, pues forman parte del proceso de formación de expectativas del inversor.

Fabozzi analiza los diferentes escenarios y puntualiza que los retornos esperados en el corto plazo se igualan si los bonos con mayores rendimientos (mayores a bonos de corto plazo) sufren importantes pérdidas de capital compensando la diferencia de rendimientos. Por otro lado, cuando el mercado tiene expectativas sobre un aumento de la rentabilidad de los bonos, la pendiente de la curva de rendimiento se vuelve positiva, de modo que cualquier ventaja en el rendimiento del bono a largo plazo y la pérdida de capital esperado (debido al aumento en el rendimiento esperado) se compensan proporcionalmente. Caso contrario ocurre cuando el mercado espera reducciones en los rendimientos y pérdidas de capital, bajando así los rendimientos actuales de los bonos a largo plazo en detrimento del rendimiento de los bonos a corto plazo, invirtiendo, de esta manera, la forma de la curva de rendimiento. (Fabozzi, 2005, p. 164)



La hipótesis de las expectativas puras¹² contrasta con la evidencia empírica que sostiene que la rentabilidad esperada entre bonos del mismo emisor varía. Es por ello que Fabozzi (2005) define a la prima de riesgo de los bonos como “un periodo esperado más largo que el retorno de un bono en un periodo por encima del retorno libre de riesgo del periodo de un bono”.

Según la hipótesis de prima de liquidez, la cual afirma que los inversores son adversos a las fluctuaciones a corto plazo en los precios de sus activos, estos mantendrán bonos a largo plazo sólo si ofrecen una prima de riesgo positiva como compensación por su mayor volatilidad.

Por último, Fabozzi (2005) describe el último factor que influencia a la curva de rendimientos. El sesgo de convexidad lo define como el impacto sobre la forma de la curva de rendimiento que tienen las diferencias de convexidades. La convexidad de un bono es, matemáticamente, la segunda derivada a partir del cálculo del *duration*. El cálculo de la sensibilidad del bono será más exacto a medida que se realicen cada vez más derivadas. La convexidad se expresa en años al cuadrado, sin embargo también puede estar expresada en divisa (usualmente en dólares) y forma parte de las medidas de sensibilidad de un bono (Mascareñas, 2006, pp. 21-27).

¹² Asume que los bonos del mismo emisor y mismo vencimiento poseen la misma rentabilidad esperada



Fabozzi (2005) asume que los bonos poseen diferentes características de convexidad y esto a lo largo del tiempo de vida del bono dará origen a diferencias de rendimientos, también afirma que el grado de esa convexidad variará acorde al *duration* y la posibilidad de opciones sobre el bono.

3.4 Modelos de estimación de la curva de rendimiento

Haciendo un repaso por las teorías sobre la estimación de la curva de rendimiento, se puede observar que ésta es necesaria para estimar el comportamiento futuro de las tasas de interés y para la toma de decisiones del inversor. Para fines metodológicos de este trabajo de grado clasificaremos estos modelos de estimación de la curva de rendimiento en: paramétricos¹³ y no paramétricos. En la siguiente tabla se expone la clasificación de los modelos de estimación de curva de rendimiento que se desarrollarán en este trabajo:

Tabla 1. Modelos de estimación de la curva de rendimientos. Fuente: Elaboración Propia.

Modelos Paramétricos	Modelos No Paramétricos
Nelson-Siegel	<i>Splines</i> Suavizados
Svensson	

¹³ Utilizaremos parámetros lineales.



3.4.1 Modelos Paramétricos

3.4.1.1 Nelson-Siegel

Entre las principales y más utilizadas metodologías de estimación encontramos los estudios de Nelson-Siegel (1987)¹⁴ que proponen un modelo paramétrico para la estimación de la curva de rendimiento. “La ventaja de Nelson-Siegel es que es un modelo parsimonioso, es decir; requiere un número pequeño de parámetros para caracterizar completamente la curva de rendimiento” (Alfaro, 2009, p. 6). Cabe destacar que “la estructura paramétrica asociada a este modelo permite analizar el comportamiento a corto y a largo plazo de los rendimientos y ajustar –sin esfuerzos adicionales–, curvas monótonas, unimodales o del tipo S” (Santana, 2008, p. 75). La expresión paramétrica propuesta por Nelson y Siegel (1987) que permite describir las tasas de interés para periodos futuros, es decir; describe las tasas *forward* se representa de la siguiente manera:

$$f(m) = \beta_0 + \beta_1 e^{-m/t} + \beta_2 (m/t) e^{-m/t}$$

¹⁴ Véase Nelson & Siegel, Parsimonious modeling of yield curve, 1987, pp. 60, 473-489



Donde m es la madurez del activo y β_0 , β_1 , β_2 y τ los parámetros que se van a estimar. Las tasas spot pueden ser obtenidas a través de tasas *forward* mediante:

$$s(m) = \int_0^m f(x) dx$$

$$s(m) = \beta_0 + \beta_1 \frac{(1 - e^{-m/t})}{(m/t)} + \beta_2 \left(\frac{(1 - e^{-m/t})}{(m/t)} - e^{-m/t} \right)$$

El valor límite del rendimiento es β_0 cuando el plazo al vencimiento m es grande, mientras que, cuando el plazo al vencimiento m es pequeño el rendimiento en el límite es $\beta_0 + \beta_1$. Igualmente, los coeficientes del modelo de tasas *forward* pueden ser interpretados como medidas de fortaleza al corto, mediano y largo plazo (Santana, 2008). La contribución al largo plazo es determinada por β_0 . Por su parte, β_1 lo hace al corto plazo ponderado por la función monótona creciente (decreciente) $e^{-m/t}$ cuando β_1 es negativo (positivo) y β_2 lo hace al mediano plazo ponderado por la función monótona creciente (decreciente) $(m/t)e^{-m/t}$ cuando β_2 es negativo (positivo) (Santana, 2008, pp. 75-76). El modelo Nelson-Siegel (1987) utiliza el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para estimar la ecuación que describe a las tasas *forward*.



Para que las metodologías Nelson-Siegel y Svensson puedan modelar sus formas finales, es necesario un proceso de minimización de los errores o residuos al cuadrado. Consecuentemente, se ajustarán los rendimientos a una curva final. Además, mediante esto se busca que los *YTM* reduzcan su distancia con la curva que representa los errores del modelo. Es así como los parámetros establecidos por el respectivo modelo van a ajustarse hasta minimizar los errores. Seguidamente, los puntos que representan los *YTM* son unidos por una curva que intenta representar de forma suave su continuidad o relación con otros *YTM* de bonos diferentes, dando forma final a la curva de rendimientos. Cabe destacar que la simple representación de los rendimientos al vencimiento no es una curva de rendimiento.

En la siguiente figura veremos de qué manera los parámetros del modelo, afectan a la forma final de la curva de rendimiento (Maita, 2010, p. 33) :



Forma de la curva	β_0	β_1	β_2	τ	Condición
Creciente y cóncava	+	-	+	+	$ \beta_1 \geq \beta_2 $
Creciente	+	-	-	+	$ \beta_1 \geq \beta_2 $
Decreciente y convexa	+	+	-	+	$ \beta_1 \geq \beta_2 $
Decreciente	+	+	+	+	$ \beta_1 \geq \beta_2 $
Forma \cap por encima de β_0	+	+	+	+	$ \beta_1 < \beta_2 $
Forma \cap , cruzando a β_0	+	-	+	+	$ \beta_1 < \beta_2 $
Forma de U por debajo de β_0	+	-	-	+	$ \beta_1 < \beta_2 $
Forma de U, cruzando a β_0	+	+	-	+	$ \beta_1 < \beta_2 $

Figura 2. Signos de los parámetros y forma de la curva de rendimientos bajo Nelson-Siegel. Fuente: Maita, 2010. Elaboración Propia.

Seguidamente, $s(m)$ será la ecuación utilizada para captar la relación subyacente entre los rendimientos y los plazos al vencimiento. En adición, dado que la curva de Nelson-Siegel proporciona tasas *spot* compuestas continuas, éstas deben transformarse en cantidades discretas, a través de la función de descuento.

$$s_d(m) = e^{s(m)/100} - 1$$

Esta metodología en su función lineal muestra que los rendimientos dependerán de plazo del título, además se estiman tres parámetros con un valor explicativo de la tasa de



interés en el corto, mediano y largo plazo. Las oportunidades de arbitraje no son permitidas bajo esta metodología, está más enfocado en simular escenarios en los mercados de bonos.

Esta metodología de estimación busca, mediante sus componentes representar de manera clara la composición de los rendimientos de los bonos involucrados. Esta metodología estimará los coeficientes correspondientes para modelar la curva. De una manera intuitiva y pragmática, forma de la curva será muy parecida a la distribución de los *YTM*, por ejemplo, si los bonos de corto plazo tienen un rendimiento menor que los de largo plazo entonces se obtiene una curva creciente. Si por el contrario, los bonos de corto plazo tienen un rendimiento mayor a los de largo plazo estaremos en presencia de una curva decreciente. En ambos casos, de existir, los puntos de inflexión en la curva son observables gráficamente.

A modo de conclusión, la siguiente figura nos muestra todas las posibles formas que puede tomar la curva bajo la metodología Nelson-Siegel.

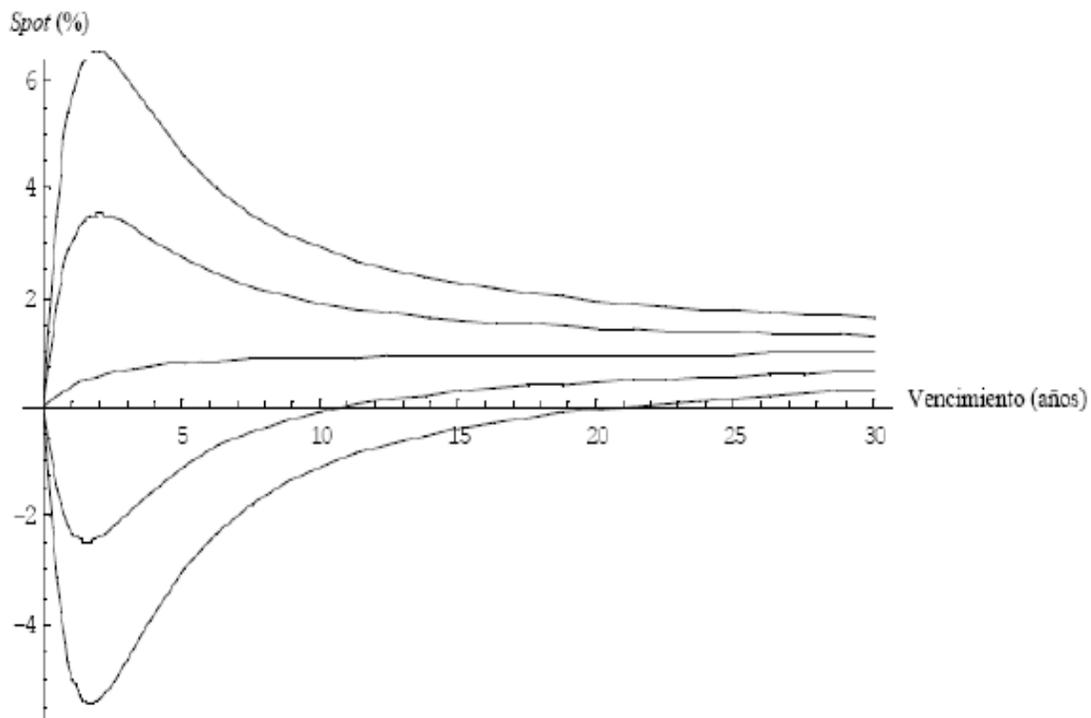
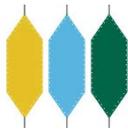


Figura 3. Formas de la curva de rendimientos según Nelson-Siegel. Fuente: Nelson y Siegel, 1987.

Podemos destacar que una de las desventajas del modelo Nelson-Siegel es que su formulación solamente permite la existencia de un máximo o mínimo. Puede no ser un problema sustancialmente importante cuando los bonos del emisor no sufren mayor volatilidad o diferencia de riesgo entre periodos de corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, puede ser una complicación al momento de requerir una forma final más compleja.



La figura a continuación ilustra cómo el modelo Nelson-Siegel admite un único máximo o mínimo en la curva de rendimientos. En el eje horizontal se representa el *duration*, mientras que en el eje vertical los rendimientos.

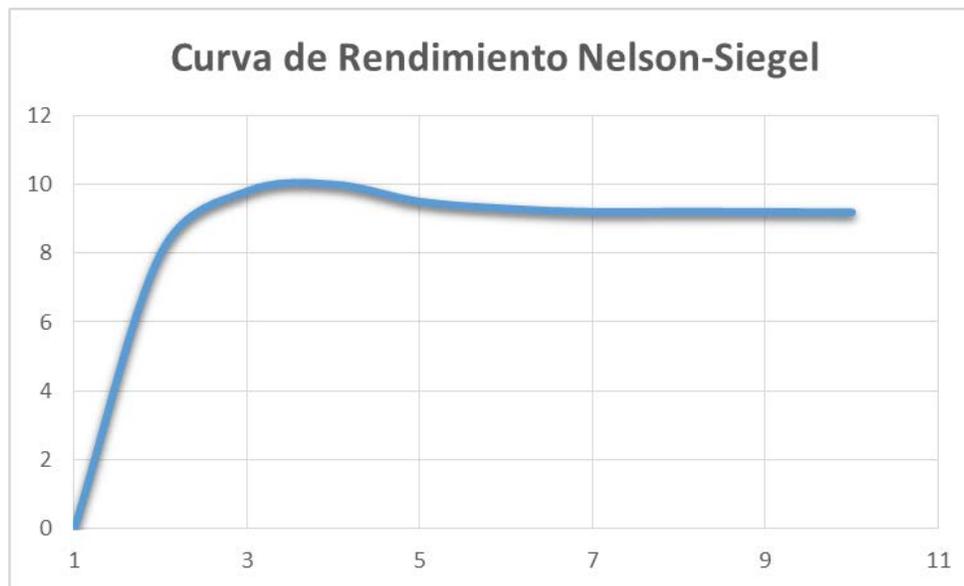


Figura 4. Curva de Rendimientos Nelson-Siegel. *Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.*

Para simplificar la explicación supondremos que el máximo se encuentra en los bonos con vencimientos más cercanos, en este caso con *duration* más cercanos a cero, pero la ubicación del máximo o mínimo estará relacionada a la variación de los rendimientos entre los bonos que forman la curva. La ubicación del máximo o mínimo, como desarrollamos en capítulos anteriores, indicará qué horizonte temporal refleja mayor riesgo para los inversionistas o tenedores de los títulos en la curva.



3.4.1.2 Svensson

Por su parte, Svensson (1994) intenta mejorar el modelo Nelson-Siegel. Es por ello que agrega un cuarto parámetro¹⁵ a la estimación de la curva, la cual es conocida como la Curva de Svensson. Este parámetro busca incorporar un segundo punto estacionario, con lo cual el modelo pierde un poco de parsimonia pues se incorporan nuevos parámetros que tienen que ser estimados.

Las metodologías de Svensson al igual que Nelson-Siegel concluyen que la tasa instantánea *forward* es la solución de una ecuación diferencial de segundo orden con dos raíces iguales. No obstante, Svensson se diferencia de Nelson-Siegel al añadir un nuevo componente a la ecuación para la flexibilidad y mejorar la bondad de ajuste, esto permite la existencia de un nuevo máximo o mínimo en la curva (Chirinos y Moreno, 2011).

La siguiente fórmula se utiliza para verificar la dinámica de las tasas *forward* descritas por este modelo es de la siguiente manera (Svensson, 1994):

$$f(m) = \beta_0 + \beta_1 e^{-m/t} + \beta_2 (m/t_1) e^{-m/t} + \beta_3 (m/t_2) e^{-m/t_2}$$

¹⁵ Svensson agrega $\beta_3 (m/t_2) e^{-m/t_2}$



Ahora, para el cálculo de la curva *spot* bajo la metodología de Svensson, se hace el mismo procedimiento que en Nelson-Siegel, de la siguiente manera:

$$s(m) = \beta_0 + \beta_1 \frac{(1 - e^{-m/t_1})}{(m/t_1)} + \beta_2 \left(\frac{(1 - e^{-m/t_1})}{(m/t_1)} - e^{-m/t_1} \right) + \beta_3 \left(\frac{(1 - e^{-m/t_2})}{(m/t_2)} - e^{-m/t_2} \right)$$

Según esta versión, la estimación de la curva es realizada mediante métodos de mínimos cuadrados, máxima verosimilitud o el método generalizados de momentos. Svensson reconoce que la metodología Nelson-Siegel estima correctamente la curva de rendimiento, pero cuando la estructura temporal de tasas de interés es compleja, mediante la curva de Svensson se obtendrá mejores resultados. Según Santana sobre la curva de Svensson:

Se propone estimar los rendimientos fundamentados, principalmente, en que las decisiones de la política económica se basan en el comportamiento de las tasas y que obteniendo las tasas a través de la curva, los precios pueden ser calculados una vez la función de descuento es evaluada (Santana, 2008, p. 77).

El modelo de Svensson, añade un parámetro a la formulación del modelo Nelson-Siegel, lo cual hace más complejo su cálculo pero hace a la metodología más flexible al momento de presentarse estructuras más complejas de representación de la curva de



rendimiento. Como veremos en la siguiente figura, el modelo de Svensson permite la posibilidad de albergar varios máximos y mínimos dentro de la misma curva. Con fines metodológicos, esta figura presenta formas extremas de los mínimos y máximos. Sin embargo, esos máximos y mínimos pueden encontrarse a lo largo de la curva indistintamente.



Figura 5. Curva de Rendimientos Svensson. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.

La curva de rendimiento toma diferentes formas por diferentes factores ampliamente desarrollados en capítulos anteriores. Sin embargo, es imperativo mencionar las variables que afectan a la forma final de la curva. Un cambio en el *YTM* hará variar la forma de la curva, ya que ésta intenta dibujar el comportamiento de los *YTM* de los bonos de un mismo emisor. Asimismo, el *duration* cambia con la fecha en la que se calcula la curva.



3.4.2 Modelos No-Paramétricos

3.4.2.1 *Splines* Suavizados

Los métodos polinomiales presentan una desventaja pues no suelen poseer un alto grado de suavidad en determinados puntos, lo cual puede llevar a resultados no satisfactorios, al menos no lo serán en los tramos que presenten baja suavidad. Para sobrellevar esta desventaja, el ajuste de polinomios de bajo orden localmente, con discontinuidades en ciertos puntos (*knots* o nodos), resulta en el conocido método de *Splines* (Santana, 2008, pp. 81-85). Los *splines* se definen como una técnica de interpolación con el fin de obtener flexibilidad y un buen ajuste en la curva de rendimientos.

Los estudios de David Durand en 1942 fueron el primer acercamiento a los modelos de *splines*. Durand pretendía ajustar las curvas que relacionan el rendimiento con el vencimiento de los instrumentos financieros. El método empleado por Durand consistía en dibujar una curva sobre un gráfico de dispersión (González, 2007, p. 21).



Entre las metodologías basadas en la aproximación de funciones de descuento utilizando *splines* podemos mencionar a McCulloch (1971 y 1975) quien propuso *splines* cúbicos o cuadráticos. Vasicek y Fong en 1982 proponen *splines* exponenciales para suavizar la forma de la curva, especialmente en largos plazos. Sin embargo, Shea en 1984 compara las aproximaciones exponenciales y polinómicas y aun así no fue posible identificar qué método ofrece mejores soluciones a los problemas de suavizamiento.

Este proceso a través del método de *Splines* Suavizados está basado en la minimización de la siguiente función:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - m(x_i))^2 + \lambda \int m''(x)^2 dx$$

En la función anterior $\lambda \int m''(x)^2 dx$, se define como la penalización. En esta función, λ es una constante especificada de suavizamiento, el cual puede asumirse variable (Abramovich & Steinberg, 1996) y estimado a través de validación cruzada generalizada. El proceso de validación cruzada generalizada busca el valor del parámetro λ que logra minimizar el valor de la validación, es decir; emplea una matriz de parámetros que controla la parsimonia y bondad de ajuste, si ésta no es minimizada llegaremos a resultados no deseados (Juio, Mera, y Herault, 2002, p. 25).



A diferencia de los *splines*¹⁶ de regresiones el número de parámetros a estimar estará en función a los *knots* que se consideren en el modelo. La penalización permite reducir la dimensión de los parámetros, obligando a que estos tengan una relación más cercana y puedan estimar de forma correcta la curva de rendimientos. En conclusión, el factor de penalización logra resolver el problema de multicolinealidad, además puede ser controlada por el factor λ (Juio, Mera, y Herault, 2002, p. 25).

La formalización de la curva de rendimientos estimada por *splines* suavizados, intenta seccionar la curva de rendimiento, empleando una función de ajuste por cada sección de la curva en base a los *knots* considerados en su cálculo.

En la siguiente figura se hace una representación de diferentes curvas estimadas con la metodología de *splines* suavizados, con todos los *knots* a lo largo de las curvas de rendimiento.

¹⁶ Véase (Juio, Mera, & Herault, 2002) para una explicación más detallada.

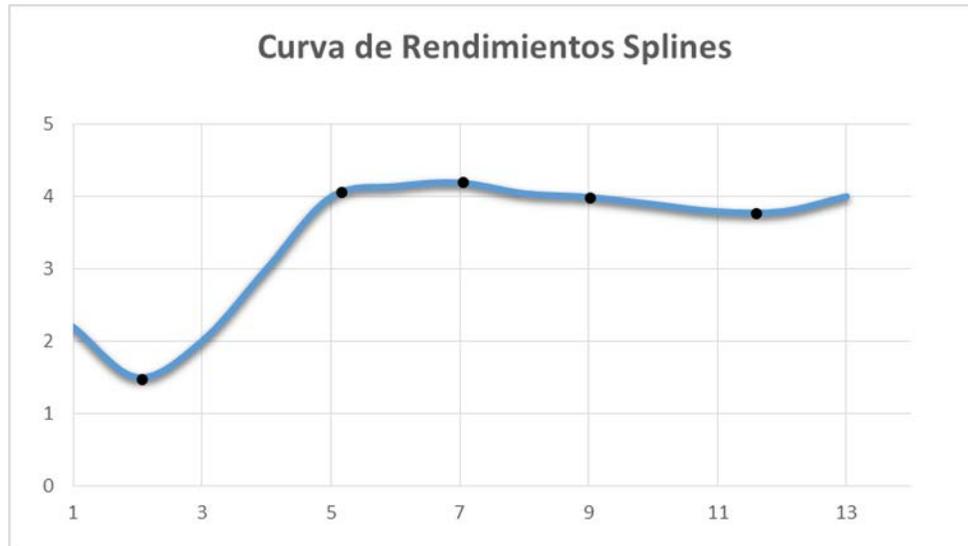


Figura 6 . Curva de Rendimientos Splines Suavizados. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia

La anterior figura muestra cómo los mismos *knots* pueden servir para distintas distribuciones de *YTM*. Nótese que la diferencia entre las curvas presentadas es producto de la regresión estimada para cada sección de *knots* que se consideren.

Asimismo, esta metodología requiere la información elemental de una serie de bonos, como su *YTM*, cupón y años hasta su vencimiento. La flexibilidad de la forma final de la curva obtenida por esta metodología dependerá de la cantidad de *knots* considerados en su formulación. Sin embargo, no se ha llegado a la conclusión del número correcto de *knots* necesarios para cualquier forma deseada.



CAPÍTULO 4: MERCADO DE DEUDA EXTERNA VENEZOLANA

4.1 Evolución del mercado de deuda externa venezolana

Durante las décadas de los setenta y ochenta en el siglo XX, gran parte de los países latinoamericanos habían contraído altos niveles de deuda con la banca internacional. En 1989 se inicia la adopción de un plan de restructuración de deuda externa bancaria de gran parte de los países latinoamericanos, llamado Plan Brady. Este plan fue apoyado por organismos multilaterales como el Banco Mundial (BM) y el Fondo Monetario Internacional (FMI).

El Plan Brady consistía en el canje de los préstamos bancarios por bonos transables en los mercados internacionales, permitiendo así a los bancos sacar esa deuda de sus respectivos balances. Estos bonos variaban en sus plazos y rendimientos (siendo emitidos a la par o a descuento) y fueron conocidos como los Bonos Brady. En 1997 se



realizó un canje de bonos Brady por los bonos Venezuela 2027¹⁷, por un monto de 4.000 millones de US\$, así se materializó el debut de Venezuela en los mercados de bonos a nivel internacional. Para el año 2006, el gobierno venezolano comenzó la recompra de los bonos Brady venezolanos que quedaban vigentes, buscando así reducir la deuda externa. Esta estrategia de recompra de bonos permitió el ahorro del servicio de deuda de más de 700 millones de U\$, y la deuda total se reduciría en más de 5.000 millones de US\$.

A continuación se observa en la siguiente figura, la evolución de la deuda externa del Gobierno Central de Venezuela emitida en bonos desde 1996 hasta octubre de 2014. Las cifras en la figura son expresadas en millones de dólares de los Estados Unidos de América.

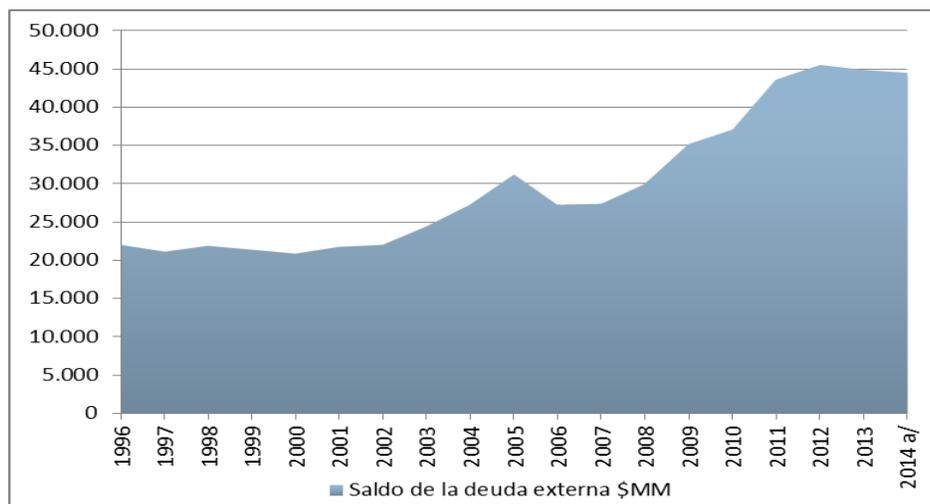


Figura 7. Saldo de deuda externa de Venezuela. Fuente Oficina Nacional de Crédito Público. Elaboración Propia.

¹⁷ También se refiere a ellos como Bonos Soberanos o Globales



En 1997 fue emitido el bono Venezuela 2027, producto del canje antes mencionado. Actualmente, el mercado de títulos de deuda venezolanos denominados en moneda extranjera está compuesto por bonos emitidos por el Gobierno Central de la República Bolivariana de Venezuela (conocidos como bonos soberanos o globales) y bonos emitidos por la estatal PDVSA que inició sus emisiones en 2007.

Las tablas 2 y 3 ilustran la composición de los bonos emitidos por Venezuela y PDVSA respectivamente. Nótese que, a pesar de que el bono Venezuela 2015 es el único denominado en Euros, no afecta en absoluto las conclusiones del trabajo. Asimismo, nótese que, para la elaboración de las tablas se tomó en consideración los bonos Venezuela 2014 y PDVSA 2014 que estaban próximos a vencer.

Tabla 2. Bonos Soberanos. Fuente: Boungy. Elaboración Propia

INSTRUMENTO	CUPON %	EMISION	VENCIMIENTO	CIRCULACION	DIVISA
VENEZUELA 2014	8,5	08/10/2004	08/10/2014	1.500.000.000	USD
VENEZUELA 2015	7	16/03/2005	16/03/2015	1.000.000.000	EUR
VENEZUELA 2016	5,75	09/12/2005	26/02/2016	1.500.057.000	USD
VENEZUELA 2018	13,625	06/08/1998	15/08/2018	752.811.000	USD
VENEZUELA 2018N	7	01/12/2003	01/12/2018	1.000.000.000	USD
VENEZUELA 2019	7,75	13/10/2009	13/10/2019	2.495.963.000	USD
VENEZUELA 2020	6	09/12/2005	09/12/2020	1.500.057.000	USD
VENEZUELA 2022	12,75	23/08/2010	23/08/2022	3.000.000.000	USD
VENEZUELA 2023	9	07/05/2008	07/05/2023	2.000.000.000	USD
VENEZUELA 2024	8,25	13/10/2009	13/10/2024	2.495.963.000	USD
VENEZUELA 2025	7,65	21/04/2005	21/04/2025	1.599.817.000	USD
VENEZUELA 2026	11,75	21/10/2011	21/10/2026	3.000.000.000	USD
VENEZUELA 2027	9,25	18/09/1997	15/09/2027	4.000.000.000	USD
VENEZUELA 2028	9,25	07/05/2008	07/05/2028	2.000.000.000	USD
VENEZUELA 2031	11,95	05/08/2011	05/08/2031	4.200.000.000	USD
VENEZUELA 2034	9,375	14/01/2004	13/01/2034	1.500.000.000	USD
VENEZUELA 2038	7	15/11/2007	31/03/2038	1.250.003.000	USD



Tabla 3. Bonos PDVSA. Fuente Boungy. Elaboración Propia

INSTRUMENTO	CUPON %	EMISION	VENCIMIENTO	CIRCULACION	DIVISA
PDVSA 2014	4,9	28/10/2009	28/10/2014	3.000.000.000	USD
PDVSA 2015	5	28/10/2009	28/10/2015	1.413.224.800	USD
PDVSA 2016	5,125	28/10/2009	28/10/2016	434.838.400	USD
PDVSA 2017	5,25	12/04/2007	12/04/2017	3.000.000.000	USD
PDVSA 2017N	8,5	02/11/2010	02/11/2017	6.150.000.000	USD
PDVSA 2021	9	17/11/2011	17/11/2021	2.394.239.600	USD
PDVSA 2022	12,75	17/02/2011	17/02/2022	3.000.000.000	USD
PDVSA 2024	6	16/05/2014	16/05/2024	5.000.000.000	USD
PDVSA 2026	6	15/11/2013	15/11/2026	4.500.000.000	USD
PDVSA 2027	5,375	12/04/2007	12/04/2027	3.000.000.000	USD
PDVSA 2035	9,75	17/05/2012	17/05/2035	3.000.000.000	USD
PDVSA 2037	5,5	12/04/2007	12/04/2037	1.500.000.000	USD

En la siguiente figura se muestran las respectivas curvas de rendimiento¹⁸ de los bonos denominados en moneda extranjera, emitidos por PDVSA en tres momentos diferentes de 2014.

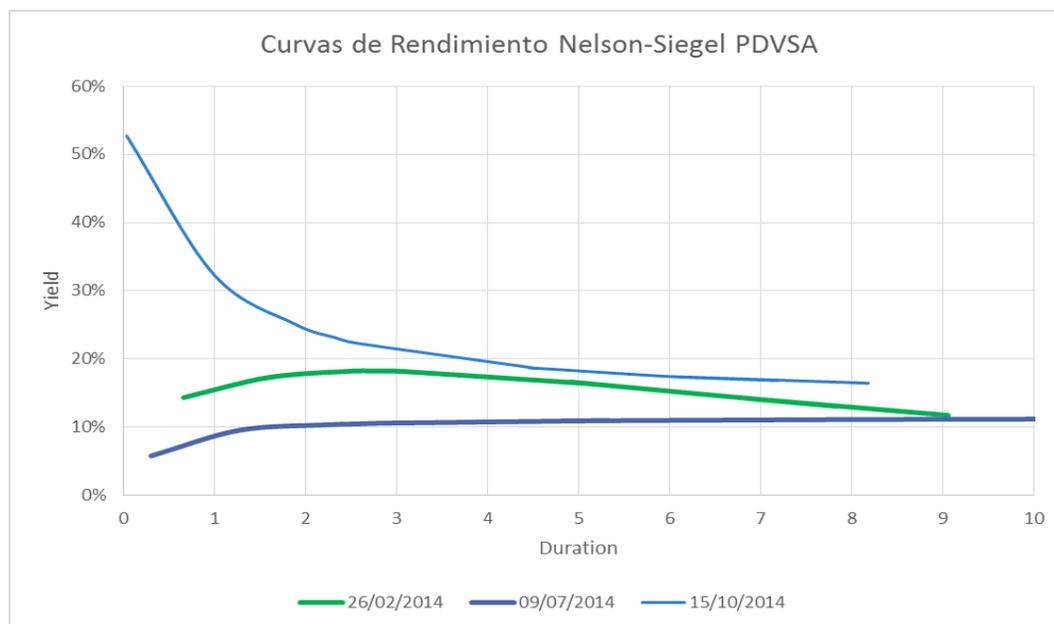


Figura 8. Curvas de Rendimiento PDVSA en tres momentos de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.

¹⁸ Ambas curvas de rendimientos fueron elaboradas bajo la metodología Nelson-Siegel.



La figura anterior describe, *grosso modo* el cambio en la percepción de riesgo para los bonos de PDVSA. Nótese el cambio en los niveles de las curvas, expresando la volatilidad en los rendimientos de los respectivos bonos en consideración. A grandes rasgos se puede evidenciar que para el 15 de octubre de 2014 los bonos con *duration* menores tienen rendimientos más altos que los bonos más alejados de la escala o con mayor *duration*. Esto se traduce en que para la fecha los mercados perciben el corto plazo más riesgoso que el largo plazo.

4.2 Desempeño de los Bonos Venezolanos

En esta sección analizaremos el desempeño de los bonos de Venezuela y PDVSA, en cuanto a la evolución de su precio concierne. Los bonos venezolanos, denominados en moneda extranjera, captan la atención de los mercados de renta fija internacional por los altos cupones que ofrecen, las numerosas emisiones y sus respectivos montos en circulación. No obstante, el apetito de riesgo que posea el inversor determinará su decisión de compra como se explicó en capítulos anteriores.



Se suele pensar que un país con un desempeño económico menor a su potencial, descontento social y mal manejo de la política económica puede, con mayor probabilidad, incumplir con sus obligaciones.

Para los inversores de renta fija es importante saber qué variables afectan a los bonos del emisor con el que pactan. En el caso venezolano, se ha llegado a determinar que las variables domésticas tienen menos influencia en la variación de los precios de los bonos de la que se podría pensar. Las variables domésticas apenas afectan en un 9,6% al movimiento de los precios de los bonos venezolanos denominados en moneda extranjera. Por su parte, las variables externas llegan a explicar a los movimientos de precios de los bonos en un 72%. Entre las variables domésticas, el tipo de cambio medido en referencia al dólar paralelo es la que explica gran parte de la influencia sobre los precios de los bonos. Mientras que, el Índice S&P500, el índice Dow Jones, el rendimiento al vencimiento de las Letras del Tesoro a 10 años de EE.UU, el Índice de Liquidez y el Índice de Volatilidad son las variables externas que explican en su mayoría las variaciones de precios de los bonos venezolanos (Valera, 2012).

El año 2012 los bonos venezolanos (Soberanos y PDVSA) denominados en moneda extranjera entraban en un rally¹⁹. En el contexto internacional, en 2012 Bolsa de Valores de Alemania tuvo un rendimiento de 31,77%, el S&P Europa 350 de 20,54% y las acciones de los mercados emergentes se apreciaron en un 19,10%.

¹⁹ Se refiere a un desempeño positivo en un tiempo determinado de un bono.



El *rally* de los bonos venezolanos entre enero de 2012 y enero de 2013 representó el aumento del valor de los bonos venezolanos en un 30,9% en promedio. Este *rally* fue liderado por el bono Venezuela 2025, el cual se apreció un 44%, seguido del bono Venezuela 2028 con un 43,3%. Los bonos con vencimientos en 2013 fueron los de menor apreciación, como el Venezuela 2013, el cual sólo alcanzó el 1,6%, mientras el bono Venezuela 2014 aumentó 9,4%.

A continuación se describe el comportamiento del precio de algunos bonos en estudio, con la intención de analizar el desempeño de estos. En la figura 9 se representa el comportamiento del precio del bono Venezuela 2025, desde octubre de 2012 a septiembre de 2014. Su precio se mantuvo en un rango de 54% y 92%. Cabe destacar que el gráfico recoge los cambios en el precio del título, no su rendimiento.

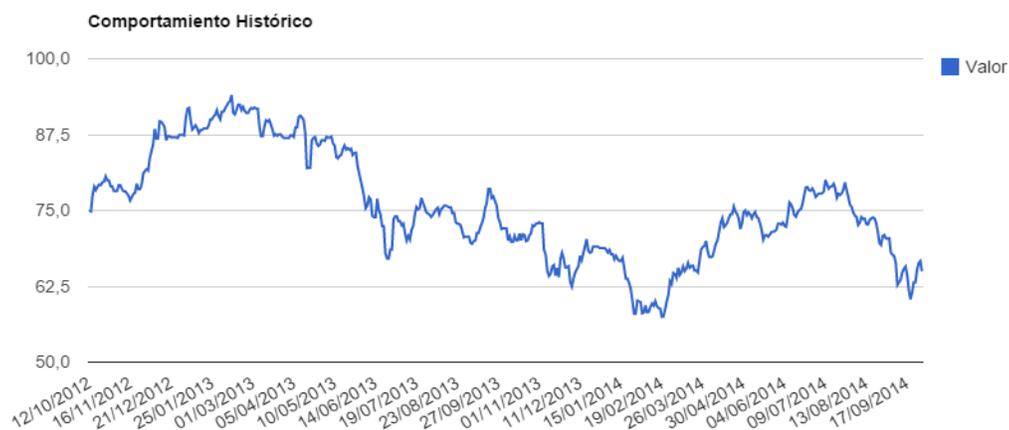


Figura 9. Comportamiento histórico del precio del Bono Venezuela 2025. Fuente: Bloomberg. Elaboración Propia.



A continuación se presenta la curva de rendimiento de los bonos soberanos, denominados en moneda extranjera, con datos del 18 de julio de 2012. Este gráfico fue realizado bajo la metodología de Svensson para el caso venezolano. Nótese que para la fecha estaba en vigencia el bono Venezuela 2013 y aún no se había emitido el bono Venezuela 2019.

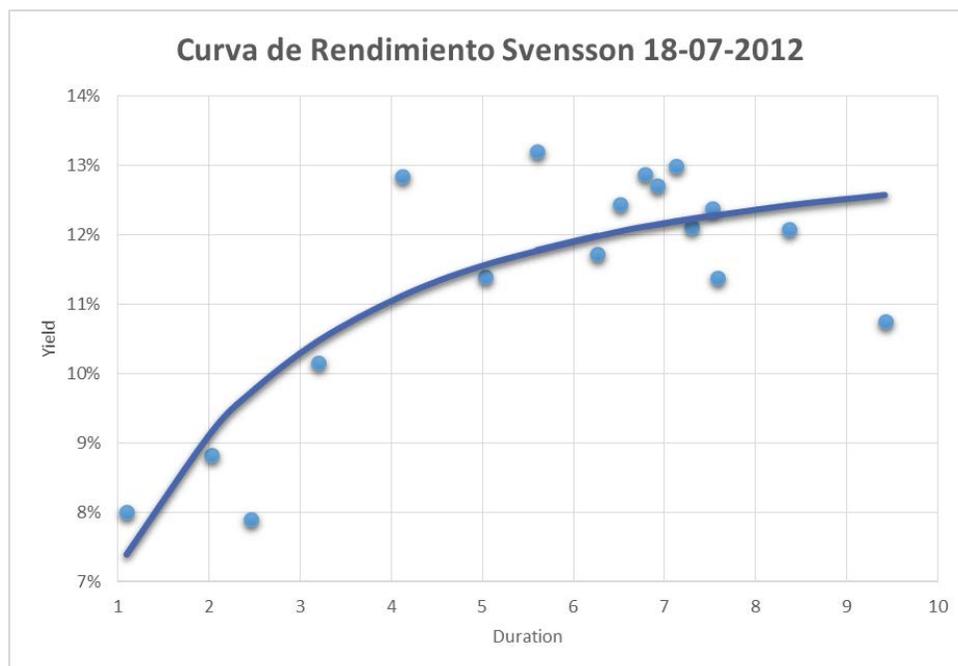


Figura 100. Curva de rendimientos Svensson para Bonos Venezuela 19-07-2014. Fuente: Boungy. Elaboración Propia.

Esta curva nos muestra que en el mediano plazo se percibe más incertidumbre, es por ello que el bono Venezuela 2022 con un *duration* de 5,6 años es el bono con mayor



YTM dentro del gráfico. La curva refleja un rango de amplitud que inicia desde el 7,99% hasta un máximo de 13,19%.

Por su parte, los bonos de PDVSA también fueron parte del *rally*. El bono PDVSA 2021 alcanzó el 45,3%, el PDVSA 2037 aumentó 43,8%, mientras que —de nuevo— los bonos con vencimientos más cercanos tuvieron un desempeño más modesto, ese fue el caso de bono PDVSA 2013, el cual aumento 6%. Por su parte, el bono PDVSA 2013N²⁰ alcanzó el 5,8%.

El siguiente gráfico ilustra el comportamiento del precio del bono PDVSA 2027, el cual se mantuvo en un rango de 50% y 73%, es decir; su precio varió un 20% en un periodo de dos años aproximadamente.

²⁰ A los bonos que poseen los mismos años de vencimiento se les diferencia con un “N”, como en el caso del Venezuela 2018 con emisión el 06/08/1998 con vencimiento el 15/08/2018, mientras que el Venezuela 2018N se emitió el 01/12/2003 y el 01/12/2018 es su fecha de vencimiento.

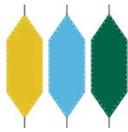


Figura 11. Comportamiento histórico del bono PDVSA 2027. Fuente: Bloomberg. Elaboración Propia

En 2013, los bonos soberanos tuvieron un desempeño más modesto en comparación al año 2012. No obstante, lograron una variación positiva de su valor durante este año. En 2013 la muerte del expresidente Hugo Chávez, los problemas inflacionarios, sociales y políticos no impidieron que los bonos venezolanos denominados en moneda extranjera continuaran en alza. Esto refuerza el argumento de Valera (2012), pues impactos tan importantes como el fallecimiento de un presidente no tuvieron mayor relevancia en los mercados de renta fija, es decir; nunca se puso en duda la calidad crediticia de los títulos de deuda externa venezolanos.

En la siguiente tabla se puede observar el comportamiento del precio, con periodicidad mensual, del bono Venezuela 2034 desde enero de 2013 hasta diciembre del mismo año.



Tabla 4. Comportamiento mensual del Bono Venezuela 2034. Fuente: Bloomberg. Elaboración Propia

Fecha	Último	Apertura	Máximo	Mínimo	Var%
01.12.2013	12.960	12.960	12.960	12.960	-4.28%
01.11.2013	13.540	13.540	13.540	13.540	11.44%
01.10.2013	12.150	12.150	12.150	12.150	-0.74%
01.09.2013	12.240	12.240	12.240	12.240	-1.13%
01.08.2013	12.380	12.380	12.380	12.380	4.47%
01.07.2013	11.850	11.850	11.850	11.850	-0.84%
01.06.2013	11.950	11.950	11.950	11.950	13.06%
01.05.2013	10.570	10.570	10.570	10.570	6.02%
01.04.2013	9.970	9.970	9.970	9.970	1.32%
01.03.2013	9.840	9.840	9.840	9.840	6.26%
01.02.2013	9.260	9.260	9.260	9.260	-0.86%
	Más alto: 13.540	Más bajo: 9.260	Diferencia: 4.280	Promedio: 11.519	Var. %: 38.76

Por su parte la siguiente tabla muestra, con periodicidad mensual, el desempeño del precio del bono Venezuela 2016, el cual en 2013 tuvo una variación de 36.42%

Tabla 5. Comportamiento mensual del Bono Venezuela 2016. Fuente: Bloomberg. Elaboración Propia.

Fecha	Ultimo	Apertura	Máximo	Mínimo	Var%
01.12.2013	9.454	9.454	9.454	9.454	0.04%
01.11.2013	9.450	9.450	9.450	9.450	-1.77%
01.10.2013	9.620	9.620	9.620	9.620	4.91%
01.09.2013	9.170	9.170	9.170	9.170	20.50%
01.08.2013	7.610	7.610	7.610	7.610	-1.68%
01.07.2013	7.740	7.740	7.740	7.740	-16.41%
01.06.2013	9.260	9.260	9.260	9.260	28.61%
01.05.2013	7.200	7.200	7.200	7.200	3.45%
01.04.2013	6.960	6.960	6.960	6.960	-8.18%
01.03.2013	7.580	7.580	7.580	7.580	11.31%
01.02.2013	6.810	6.810	6.810	6.810	-1.73%
	Más alto: 9.620	Más bajo: 6.810	Diferencia: 2.810	Promedio: 8.259	Var. %: 36.42



En 2014 los bonos venezolanos experimentaron cambios drásticos, al ser influenciados por variables domésticas y externas. El año 2014 será el año de estudio que dé forma final a las curvas de rendimiento en las conclusiones de este trabajo especial de grado.

En el ámbito internacional, la Reserva Federal de Estados Unidos o Federal Reserve (FED) no aumentó las tasas de interés, las cuales llevan represadas y en niveles mínimos históricos desde finales de la crisis económica de 2008. Movimientos separatistas en Europa pusieron en duda la continuidad del Euro como moneda de curso legal dentro de los países de la unión europea. Por su parte, en materia doméstica, el descontento social materializado en protestas en febrero de 2014, nuevas reformas de los sistemas de control cambiario, el *downgrade* de la calidad crediticia de Venezuela por la calificadora de riesgo Standard and Poor's en septiembre del mismo año, el vencimiento del bono PDVSA 2014 el 8 de octubre de 2014 y una caída pronunciada, desde julio del mismo año, en los precios del petróleo a niveles de 80 dólares por barril.

En la figura 13 se representan las curvas de rendimiento para los bonos soberanos, denominados en moneda extranjera. Estas curvas de rendimiento fueron desarrolladas bajo la metodología de Svensson. Las curvas a continuación describen cómo variaron los bonos de la República en cuestión de un mes. Una curva representa el comportamiento de los bonos al 15 de septiembre y la siguiente curva al 15 de octubre de 2014. Cabe



destacar que el bono Venezuela 2014 venció el ocho de octubre de 2014, la curva muestra la corrección días después del vencimiento.

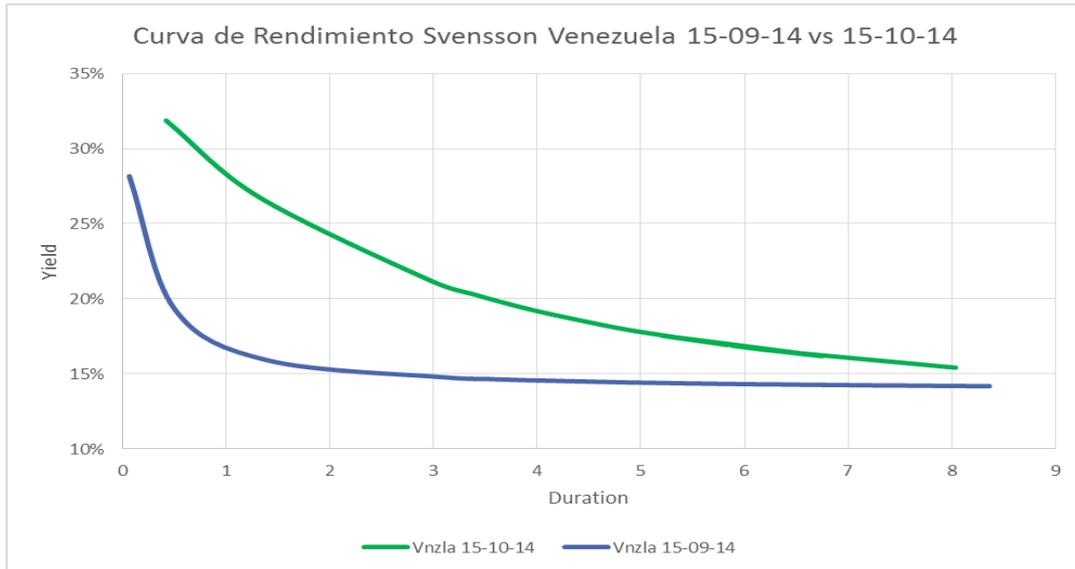


Figura 12. Curva de Rendimiento Svensson Venezuela 15-09-2014. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.

En la anterior figura se puede destacar la diferencia del comportamiento de la curva de rendimiento con sólo un mes de diferencia. La curva de mantiene en un rango que tiene como límite inferior un valor cercano a 15% y un valor máximo que ronda el 32%. Esto nos muestra una percepción de riesgo mayor en el corto plazo que en el largo plazo, lo cual representa una curva de rendimiento invertida.



CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO

La curva de rendimiento debe calcularse de manera diaria²¹, o inclusive puede calcularse cada vez que cambie el precio durante el día (sesión), pues la información del precio de los títulos de un emisor varía continuamente, por lo tanto también varía el *YTM*. Asimismo, es imperativo mencionar que entre diferentes fechas pueden variar los bonos que se representen en la curva, ya que alguno pudo haber vencido. Esto no representa un problema, por el contrario, nos permite verificar la confiabilidad de las metodologías.

El objetivo principal de este trabajo de grado es presentar las diferencias entre los modelos paramétricos y no paramétricos de estimación de curva de rendimientos y, posteriormente comparar los resultados a nivel de riesgo y de estadística descriptiva que estos puedan arrojar.

²¹ Lo usual es calcular la curva de rendimiento en base a los precios de cierre diarios.



5.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos serán comparados con base en la medida de riesgo diseñada en este trabajo (PR-Z)²² y en indicadores numéricos que describen la bondad de ajuste de los modelos sobre los bonos emitidos por Venezuela y PDVSA. En primer lugar, describiremos las curvas de rendimiento y luego procederemos a comparar las metodologías.

La muestra seleccionada son los bonos emitidos por Venezuela y PDVSA denominados en moneda extranjera vigentes o existentes en el mercado internacional de renta fija al momento de su cálculo y estudio. La información necesaria para el cálculo de las curvas de rendimientos fue suministrada por los portales Bouny y Bloomberg. Posteriormente, las curvas fueron modeladas en los programas Matlab y Excel.

Para comparar las metodologías con base en una medida de riesgo, se calculó el Z-*Spread* para cada bono. Consiguientemente, la suma de la distancia entre la curva y el Z-*Spread* se ponderó y se representó como PR-Z. De ser diferente esta medida entre las metodologías en una misma fecha de estudio, se estará aceptando la hipótesis central de este trabajo especial de grado.

²² Véase Capítulo 2.4 sobre *Spreads*



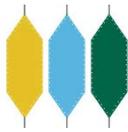
La comparación de la bondad de ajuste de las metodologías viene representada por la suma de los errores al cuadrado (SSE)²³ y la raíz del promedio de los errores al cuadrado (RMSE)²⁴. La metodología que consistentemente muestre menores SSE y RMSE será la metodología con mejor bondad de ajuste.

Para este trabajo especial de grado se seleccionaron fechas de estudio determinadas. La primera, el 26 de febrero de 2014, luego el 9 de julio de 2014 y finalmente el 15 de octubre de 2014. La razón primordial de la selección de estas fechas es argumentada en la investigación de Valera (2012). En febrero de 2014 se experimentaron importantes variables domésticas que pudieron afectar el precio y rendimiento de los bonos venezolanos. Para entonces, en Venezuela ocurrían protestas y descontento social. Los restantes momentos de estudio pretenden cubrir el comportamiento en 2014 de los bonos venezolanos denominados en moneda extranjera.

Para la comparación de las metodologías se formularon los modelos Nelson-Siegel, Svensson y *Splines* Suavizados. Para el cálculo de estos fueron necesarios los siguientes datos generales: 1) Fecha de vencimiento del bono, 2) Cupón, 3) *YTM*, 4) Parámetros a estimar en el modelo. El vencimiento al igual que las fechas en las que se

²³ *Sum of Squared Errors*, $SSE = (n - 1)(S_y^2 - \frac{S_{xy}^2}{S_x^2})$ evalúa qué tan bien se ajusta la ecuación a los datos.

²⁴ *Root Mean Square Error*, $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$



calcularon las curvas, junto con el cupón y el *YTM* fueron necesarios para el cálculo del *duration*, esta medida será utilizada para representar el eje horizontal en las curvas.

En la siguiente figura se desglosan los resultados arrojados en cada modelo, para los bonos de Venezuela y PDVSA respectivamente. Lo que se representa a continuación son los resultados de los parámetros²⁵, su promedio de riesgo en comparación con el *Z-Spread* (PR-Z) y el resultado de los SSE, RMSE de las metodologías en estudio.

Metodologías de estimación de curva de rendimientos Venezuela									
Parámetros estimados	26/02/2014			09/07/2014			15/10/2014		
	Nelson Siegel	Svensson	Splines	Nelson Siegel	Svensson	Splines	Nelson Siegel	Svensson	Splines
β_0	0,13385139	0,209731671		0,117718597	0,11656411		0,111988339	0,111986155	
β_1	-0,3635979	-0,91373867		-0,06450493	-0,08406672		0,238782477	0,238782147	
β_2	0,600778531	-0,00201832		4,41882E-05	4,41721E-05		4,4141E-05	4,41431E-05	
β_3		-233,624447			-0,01634386			0	
τ_1	0,379155375	0,04481151		0,711632998	0,462053089		1,419706918	1,419764226	
τ_2		13263,38406			13890,21466			13889,61156	
λ			0,99965			0,9999946			0,999993
a			0,463			0,506			0,0789
b			0,266			0,0686			0,392
c			0,334			0,666			0,801
PR-Z	0,012362636	0,012281255	0,01237029	0,006901647	0,006834607	0,00692071	0,021840043	0,02184	0,02190211
SSE	0,000854788	0,000787519	0,9991	0,000351351	0,000330112	0,492	0,002927246	0,002927246	0,009412
RMSE	0,007090957	0,006806222	0,5633	0,004662613	0,004542246	0,6191	0,013526008	0,013526008	0,07618

Figura 13. Tabla Resumen para los Bonos Soberanos. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.

Para el 26 de febrero de 2014, Svensson obtuvo un SSE de 0,000787519, lo cual significa que tiene una mejor bondad de ajuste. Svensson ajustó mejor la curva en un

²⁵ β_0 , β_1 , β_2 y τ_1 para Nelson-Siegel. β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , τ_1 y τ_2 para Svensson. Para los *Splines* Suavizados, a , b , c y λ (el término de suavización).



7,8% en comparación a Nelson-Siegel y en comparación a los *Splines* Suavizados fue de un 99,92% menor.

Comparando el RMSE de las metodologías para la misma fecha, Svensson vuelve a presentar los menores valores o mejor ajuste. Superando a Nelson-Siegel en 4,01% y a los *Splines* Suavizados en un 98,79%. Evaluando la medida de riesgo desarrollada en este trabajo, Svensson presenta el menor coeficiente, lo que nos indica que esta metodología está más cercana a la curva *Z-Spread*. Esta metodología obtuvo un PR-Z de 0,012281255 lo que significa un 0,65% menor al PR-Z de Nelson-Siegel y un 0,72% menor al de los *Splines* Suavizados. Lo anterior también nos indica la aceptación de la hipótesis presentada en este trabajo especial de grado.

Los resultados obtenidos para los bonos soberanos el 9 de julio de 2014, consideran a Svensson la metodología que mejor bondad de ajuste, presentando un SSE 6,04% menor al de Nelson-Siegel y 99,93% menor al de los *Splines* Suavizados con un 0,000330112. De igual manera, Svensson obtuvo un RMSE de 0,004542246 lo que representa una diferencia de 2,58% y un 99,26% en comparación a Nelson-Siegel y los *Splines* Suavizados respectivamente. Las percepciones de riesgo para esta fecha muestran que Svensson es 1,24% y 0,97% más cercano a *Z-Spread* en comparación Nelson-Siegel y *Splines* Suavizados respectivamente.



Se puede notar que para el 15 de octubre de 2014 los modelos Nelson-Siegel y Svensson tuvieron el mismo RMSE y SSE, el cual fue menor al presentado por los *Splines* Suavizados. Sin embargo, se evidencian diferencias en cuanto a la medida de riesgo de las metodologías, en las que Svensson con un 0,02184 es 0,28% menor al PR-Z de los *Splines* Suavizados y apenas un 0,00019% menor en relación al PR-Z de Nelson-Siegel.

En la siguiente figura se muestran los resultados obtenidos para los bonos emitidos por PDVSA, denominados en moneda extranjera, sintetizados en una tabla resumen.

Metodologías de estimación de curva de rendimientos PDVSA									
Parámetros estimados	26-02-2014			09-07-2014			15-10-2014		
	Nelson Siegel	Svensson	Splines	Nelson Siegel	Svensson	Splines	Nelson Siegel	Svensson	Splines
β_0	-0,00303078	0,248386875		0,114177881	0,114179831		0,137477124	0,137477283	
β_1	0,105895067	-0,19079021		-0,09846524	-0,12708183		0,402681417	0,40268105	
β_2	0,439272297	0,000487079		4,41426E-05	4,4141E-05		4,41345E-05	4,41334E-05	
β_3		-59,0322531			-3,215141			0	
τ_1	2,135251835	0,428418257		0,244171601	0,162565265		0,549650345	0,54964896	
τ_2		2160,063607			13297,2853			13889,61156	
λ			0,99965			0,999975			0,999951
a			0,0634			0,0855			0,000365
b			0,716			0,942			0,182
c			0,808			0,00749			0,172
PR-Z	0,01121926	0,01115668	0,01116871	0,006904949	0,006938706	0,00690303	0,045393497	0,045393453	0,04529154
SSE	0,000378127	0,000325672	0,04842	0,000628585	0,000621131	0,7778	0,003449864	0,003449864	0,009356
RMSE	0,005863034	0,005441193	0,3908	0,007559371	0,007514414	0,7621	0,016955491	0,016955491	0,217

Figura 144. Tabla Resumen para Bonos PDVSA. Fuente: Cálculos y Elaboración Propia.

Nuevamente, los resultados muestran que la metodología de Svensson, para el caso de los bonos emitidos por PDVSA, ajusta mejor los rendimientos a la curva. Svensson obtuvo un SSE menor al de Nelson-Siegel en un 13,87% y un 99,95% menor



al de los *Splines* Suavizados para el 26 de febrero de 2014. Misma fecha en la que Svensson obtuvo un RMSE de 0,00544119 que fue 7,19% y 98,6% menor en comparación a Nelson-Siegel y *Splines* Suavizados respectivamente. En cuanto a su medida de riesgo, Svensson presentó una medida de riesgo menor en comparación a Nelson-Siegel y *Splines* Suavizados en un 0,55% y un 0,10% respectivamente.

Para el 9 de julio de 2014 el modelo Svensson obtuvo una mejor bondad de ajuste, con un SSE menor en 1,18% con respecto a Nelson-Siegel y en un 99,95% con respecto a los *Splines* Suavizados y el RMSE de Svensson fue menor en un 0,59% y un 99,01% en comparación a Nelson-Siegel y *Splines* Suavizados. En la medida de riesgo, el método de *Splines* Suavizados obtuvo una medida menor en comparación a Svensson y Nelson-Siegel. El PR-Z de los *Splines* suavizados fue menor en un 0,027% y un 0,5% con respecto a Nelson-Siegel y Svensson respectivamente.

En la última fecha considerada en el estudio, Svensson y Nelson-Siegel tienen la misma bondad de ajuste en cuanto a SSE y RMSE se refiere. Mientras, el método de los *Splines* Suavizados fue el que obtuvo la menor medida de riesgo, con un 0,23% contra Svensson y 0,22% contra Nelson-Siegel.

La ventaja de representar curvas desarrolladas por diferentes metodologías es que visualmente se pueden notar diferencias, haciendo una comparación más intuitiva de las metodologías. Las siguientes figuras expresan gráficamente la formulación de las



metodologías de estimación de curvas de rendimiento. Estas formulaciones son válidas solamente en los momentos determinados de estudio. Las curvas de rendimiento resumidas en las tablas anteriores, las cuales presentaron diferentes bondades de ajuste y medidas de riesgo, son presentadas ordenadas por sus fechas en estudio.

A continuación, se presentan las curvas de rendimiento para el caso de los bonos emitidos por Venezuela, con datos del 26 de febrero de 2014. Nótese como los mismos *YTM* son ajustados de forma diferente por cada metodología, a pesar de que el nivel y rango de las curvas no varía entre ellas, es la forma como recorren los puntos que desarrolla la curva la que presenta diferencias. Asimismo se debe prestar atención a la forma de las curvas que expresan estas metodologías.

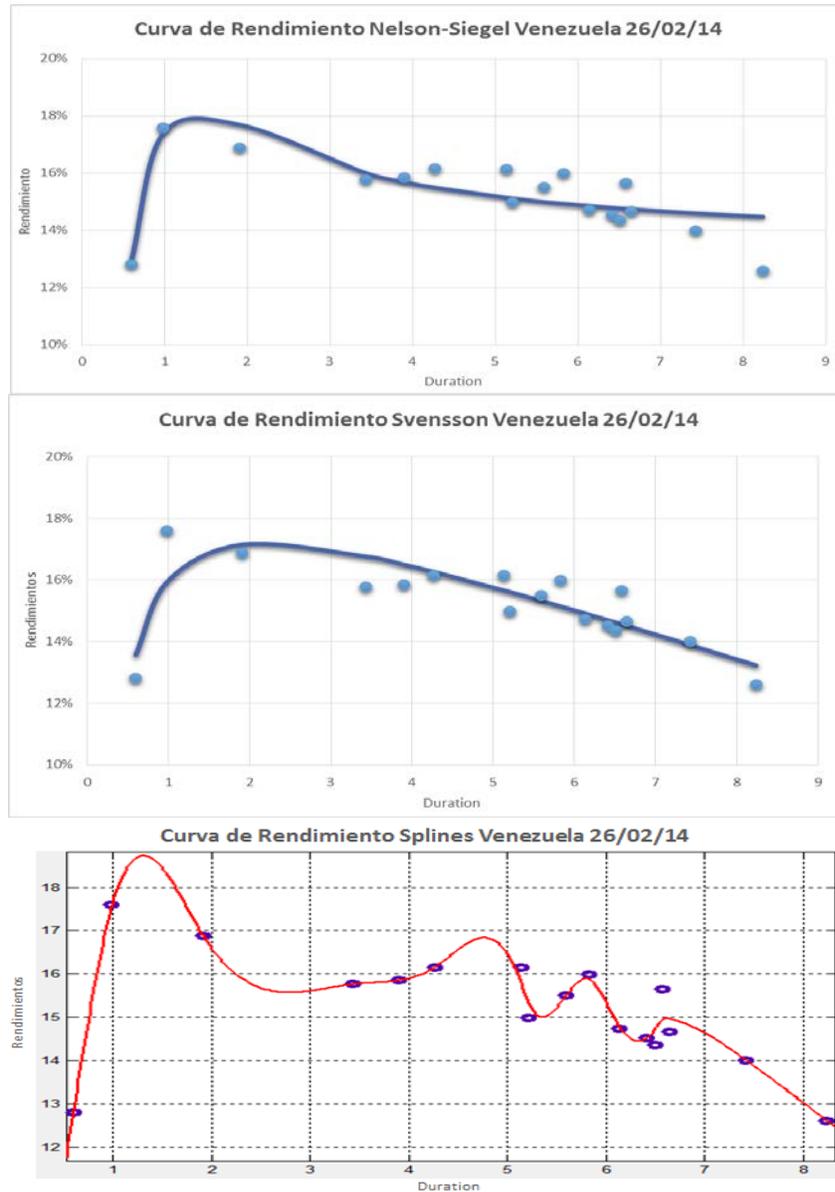
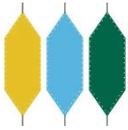


Figura 155. Curvas de rendimiento Venezuela 26 de febrero de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.

Gráficamente puede notarse la diferencia del ajuste de las curvas para la misma distribución de *YTM* del mismo emisor. Se observa como la curva por *Splines* Suavizados presenta variaciones, tratando de ajustar los rendimientos. Mientras que las



metodologías Nelson-Siegel y Svensson presentan formas más suaves. En general, la curva de rendimientos para el 26 de febrero de 2014, bajo cualquier metodología, se mantuvo en el rango correspondiente a 12,8% y 17,59%. Nótese que la curva presenta mayor riesgo para los bonos con vencimientos a mediano plazo.

Por su parte, para la misma fecha, los bonos emitidos por PDVSA se comportaron de manera diferente. Como se presenta a continuación, para el 26 de febrero de 2014 los bonos se ubicaron en un rango entre 11,73% y 18,23%. Asimismo, la curva de rendimientos presenta más riesgo en los bonos con vencimientos más cercanos en comparación a los rendimientos de largo plazo. Esta forma de curva de rendimiento es la llamada *humped* que desarrollamos en el capítulo 3.

Se debe prestar especial atención a la diferencia del ajuste de la curva sobre los *YTM*. Las curvas Nelson-Siegel y Svensson son muy similares visualmente, pero los *Splines* Suavizados representan una curva de rendimientos que pasa por todos los *YTM*, con muchas oscilaciones.

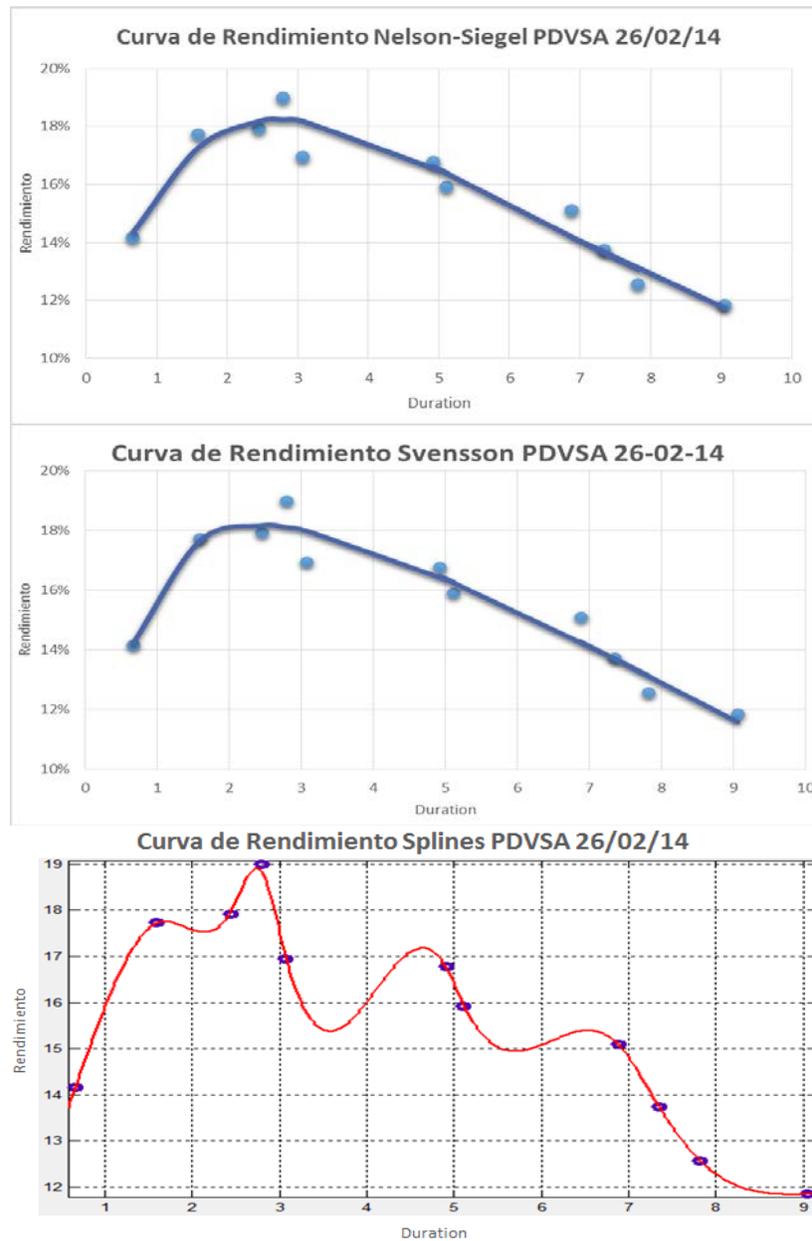


Figura 166. Curvas de rendimiento PDVSA 26 de febrero de 2014. *Fuente: Cálculos y Elaboración propia.*

Los bonos emitidos por Venezuela presentaron una diferencia notable en comparación a la fecha anteriormente estudiada. Nótese cómo los bonos al final de la



curva presentan una percepción de riesgo diferente a los mismos bonos apenas meses atrás.

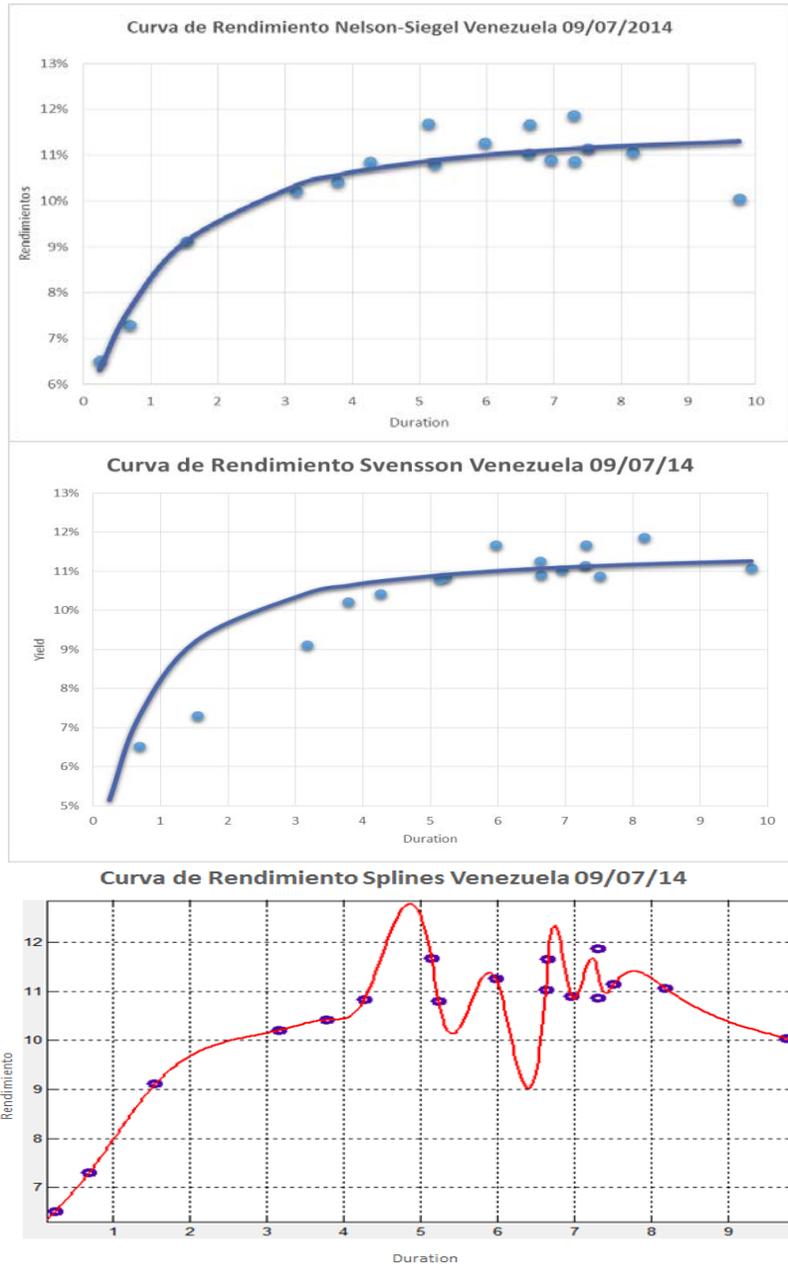


Figura 17. Curvas de rendimiento Venezuela 9 de julio de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.



Estos bonos se mantuvieron en un rango de 6,5% y 11,30%. Nótese el ajuste que hacen las diferentes metodologías.

La siguiente figura es la representación de las metodologías calculadas con base en la información de los bonos emitidos por PDVSA para el 9 de julio de 2014.

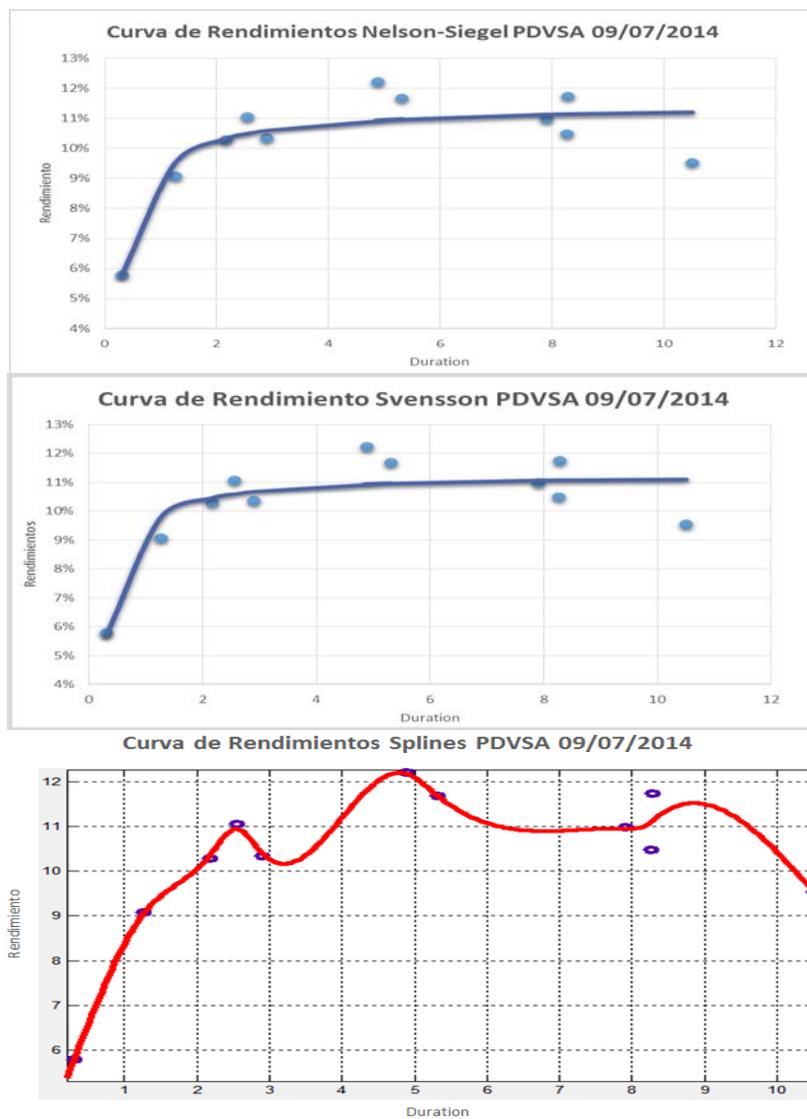


Figura 18. Curvas de rendimiento PDVSA 9 de julio de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.



Estos títulos variaron su comportamiento en relación a la fecha de estudio anterior. La curva se representó entre los rendimientos 5,78% y 12,2%. En comparación a la fecha anterior (26 de febrero de 2014), la curva cambia de nivel pero también cambia su percepción de riesgo entre el corto y largo plazo.

El 15 de octubre de 2014 fue la fecha final de estudio para los bonos emitidos por Venezuela y PDVSA, denominados en moneda extranjera. Se debe prestar especial atención a la forma de la curva de rendimiento. En los casos anteriores los títulos de Venezuela y PDVSA habían presentado una curva donde la mayor incertidumbre o riesgo se encontraba en el mediano o largo plazo. Lo cual, como desarrollamos en capítulos anteriores, es lo común en los mercados de renta fija, donde la incertidumbre por vencimientos futuros representa una prima o rendimiento exigido más alto por el inversionista.

Para la fecha había vencido el bono Venezuela 2014, el 8 de octubre de 2014 y estaba próximo a vencer el bono PDVSA 2014 el 28 de octubre. La apreciación de riesgo es sustancialmente distinta a la de las fechas anteriormente estudiadas, presentando una curva de rendimiento invertida, donde el mayor riesgo lo presentan los bonos con vencimientos más cercanos.

A continuación se presentan las respectivas curvas de rendimiento para el 15 de octubre de 2014.

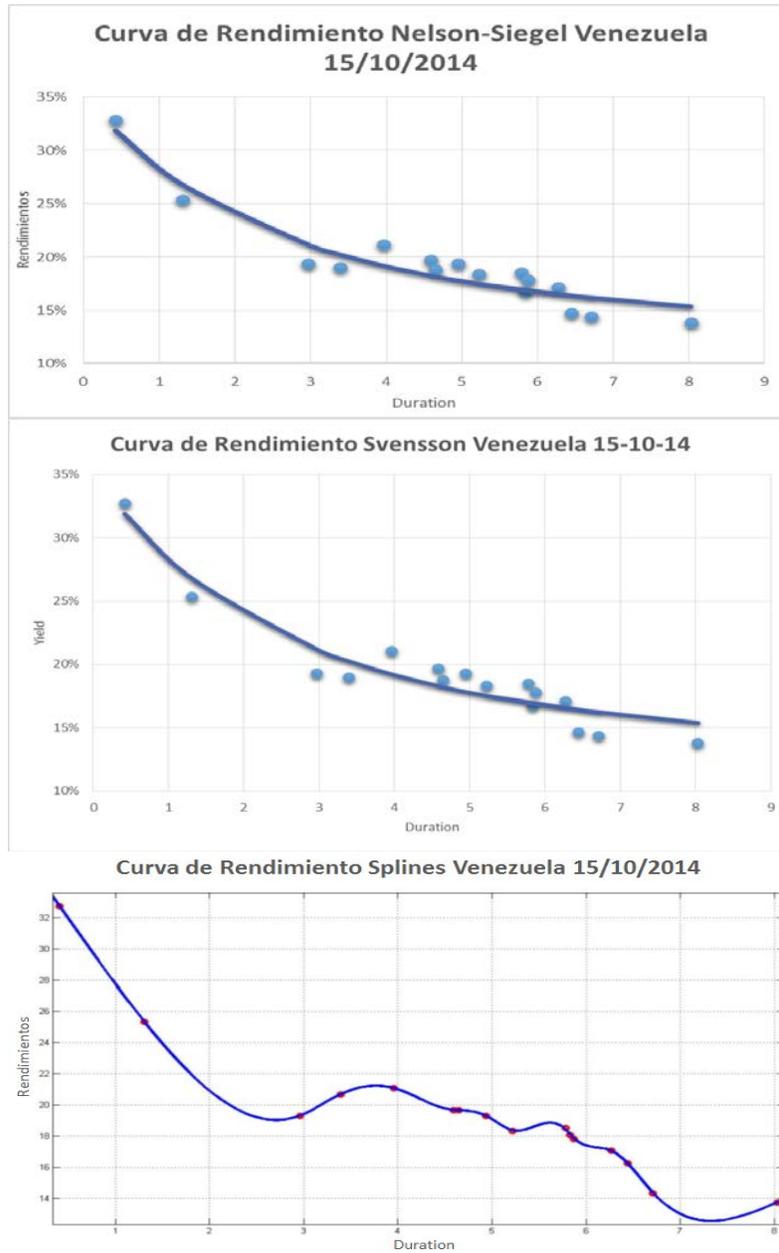


Figura 19. Curvas de rendimiento Venezuela 15 de octubre de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.



La curva se comportó en un rango de 13,7% y 32,75% presentando una forma inversa de la curva de rendimientos. A continuación se presentan las curvas para el caso de los bonos de PDVSA.

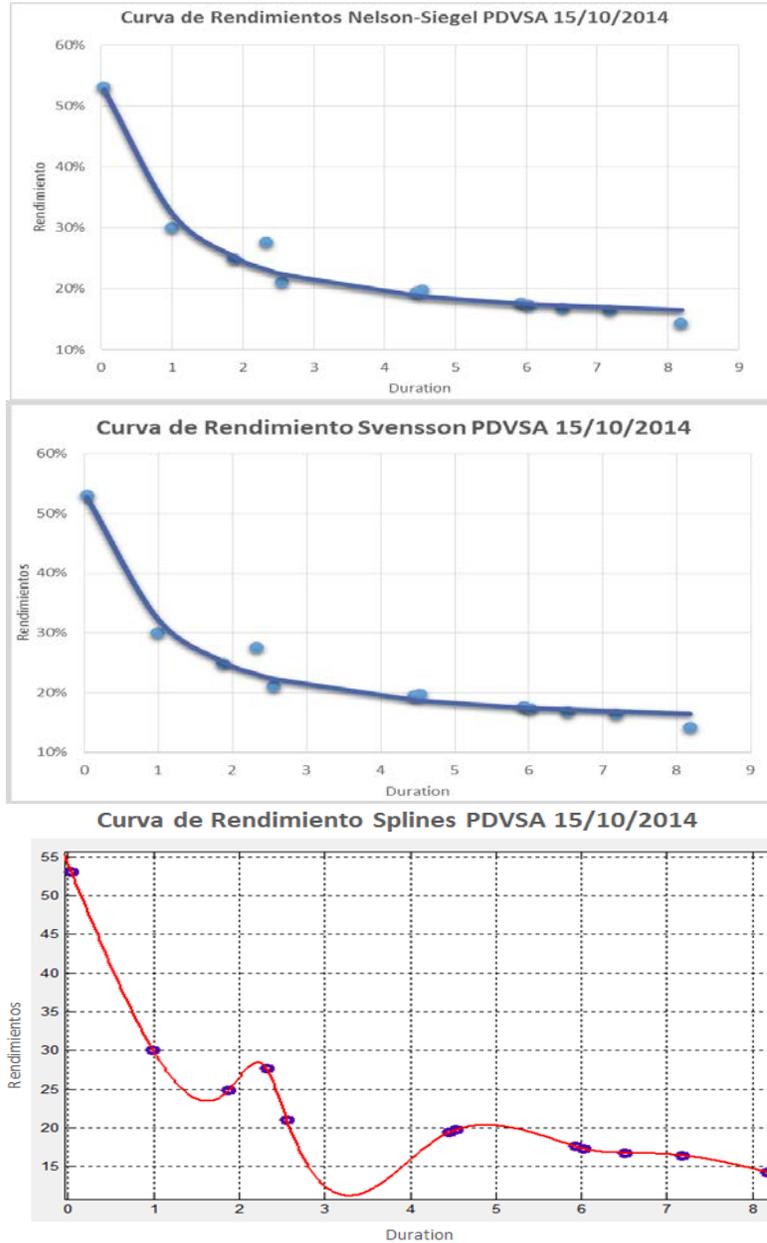
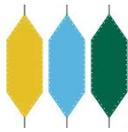


Figura 20. Curvas de rendimiento PDVSA 15 de octubre de 2014. Fuente: Cálculos y Elaboración propia.



De esta manera, se llega a la conclusión de que la metodología de Svensson es la que representó, de manera más consistente, la curva de rendimientos que mejor bondad de ajuste (SSE y RMSE) y menor medida de riesgo (PR-Z) obtuvo en la mayoría de las fechas de estudio para ambos casos (bonos de Venezuela y PDVSA).

Clasificando a las metodologías por fecha de estudio, para el 26 de febrero de 2014, Svensson, para los bonos emitidos por Venezuela y PDVSA, fue la metodología con mejor bondad de ajuste y menor medida de riesgo. Por su parte, el 9 de julio de 2014, en el caso de los bonos de PDVSA, los *Splines* Suavizados fue la metodología que obtuvo una menor medida de riesgo, pero la que mejor bondad de ajuste obtuvo fue Svensson. Para la misma fecha, en el caso de los bonos de Venezuela, la metodología de Svensson obtuvo una mejor bondad de ajuste y menor medida de riesgo.

Para el 15 de octubre de 2014, en el caso de los bonos de Venezuela Svensson y Nelson-Siegel tienen la misma bondad de ajuste pero la medida de riesgo es menor en Svensson. En el caso de los bonos emitidos por PDVSA, los *Splines* Suavizados obtuvieron la menor medida de riesgo, pero la mejor bondad de ajuste nuevamente es compartida entre Svensson y Nelson-Siegel.

A modo de complementación y, basado en que el modelo Svensson fue el que obtuvo, de manera consistente, la mejor bondad de ajuste para los rendimientos de los bonos Venezolanos y de PDVSA, denominados en moneda extranjera, a continuación se



presenta la curva de rendimiento de Venezuela y PDVSA para el 17 de septiembre de 2014.

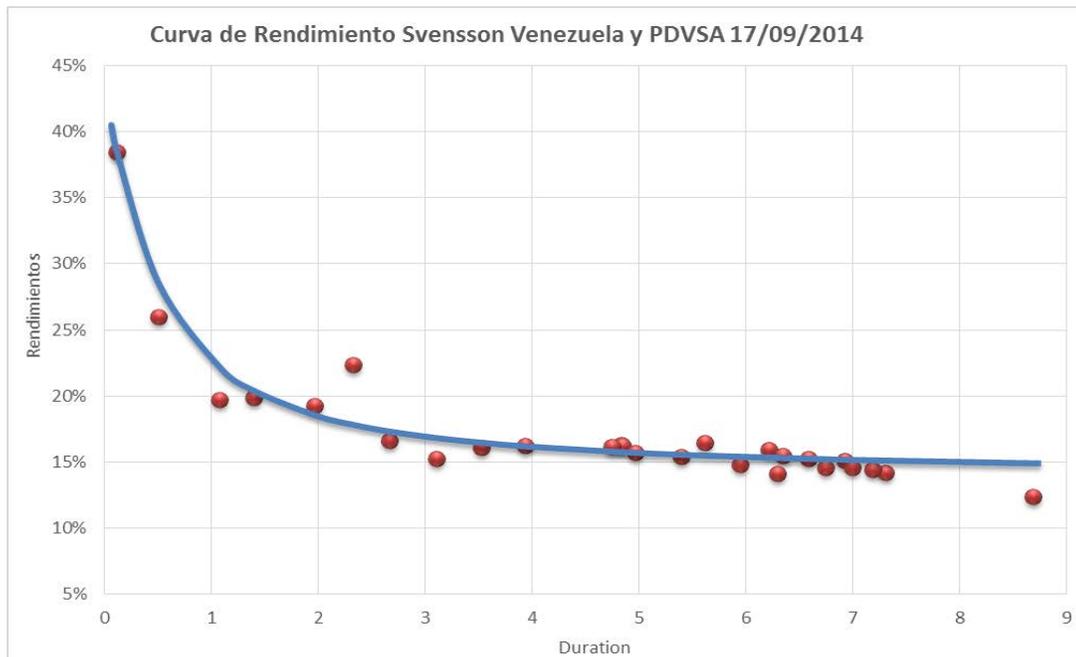
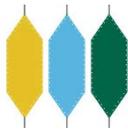


Figura 21. Curvas de rendimiento Svensson Venezuela y PDVSA 17 de septiembre de 2014. *Fuente: Cálculos y Elaboración propia.*

Los mercados financieros reflejan diferencias entre bonos emitidos por países y por empresas pero no por empresas estatales, entonces se asumió a PDVSA y Venezuela como el mismo emisor. El resultado fue una curva de rendimientos invertida, con un valor máximo de 42% y un valor mínimo de 12,4%. Esta curva de rendimientos expresa todos los bonos estudiados vigentes para la fecha.



5.2 Conclusiones y Recomendaciones

Este trabajo de grado logró indagar en las metodologías de estimación de la curva de rendimientos. Citando a Santana (2008), quien define a la curva de rendimientos como:

Una herramienta utilizada para describir las tasas de rendimientos de un conjunto de papeles, con la misma estructura crediticia, pero con diferentes períodos al vencimiento, como un medio para representar de forma aproximada, la estructura a plazos de las tasas de interés. (p. 99)

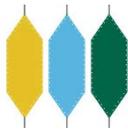
Es imperativo aclarar que una simple representación de los *YTM* ordenados por sus años al vencimiento o por los nombres de sus títulos no debe confundirse con una curva de rendimiento. Este trabajo especial de grado logró formalizar las metodologías de estimación de la curva de rendimiento. Estos modelos ya estructurados podrán servir como una herramienta real para los inversionistas de renta fija. También se logró describir el trasfondo de esos títulos de deuda pública denominada en moneda extranjera. Por último, este trabajo logró indicar el riesgo que expresan las diferentes metodologías, validando así la hipótesis central mediante una medida de riesgo diseñada para el estudio (PR-Z).



Las metodologías paramétricas y no paramétricas utilizadas en este trabajo son ampliamente discutidas y contrapuestas en la literatura estadística y econométrica. El trabajo especial de grado determinó empíricamente el desempeño de las metodologías en el ajuste de los rendimientos de los bonos de Venezuela y PDVSA, determinando que la metodología paramétrica desarrollada por Svensson es la que consistentemente se ajusta mejor a los rendimientos al vencimiento de los bonos de Venezuela y PDVSA en las fechas de estudio.

El valor agregado de este trabajo se encuentra en la comparación de las metodologías con base en su bondad de ajuste y medida de riesgo sobre los rendimientos de todos los bonos vigentes de Venezuela y PDVSA, denominados en moneda extranjera. Sólo un antecedente parecido para el caso colombiano, desarrollado por Santana en 2008, puede compararse a este trabajo de grado. Además, se logró representar en una misma curva de rendimientos todos los bonos emitidos por Venezuela y PDVSA.

Se recomienda para futuras investigaciones hacer un análisis de todas las metodologías paramétricas y no paramétricas y clasificarlas en un ranking con base en valores cualitativos de la forma final de la curva de rendimiento. Asimismo se sugiere prestar especial atención a modelos no paramétricos que son tomados en cuenta cada vez más por los inversores de renta fija, como por ejemplo las Redes Neuronales Artificiales (RNA).



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramovich, F., & Steinberg, D. (1996). *Improved inference in nonparametric regression using Lk-smoothing splines*. Ramat Aviv: Journal of Statistical Planning & Inference.
- Alfaro, R. (2009). *La curva de rendimiento bajo Nelson-Siegel*. Santiago de Chile: Banco Central de Chile.
- Aljinović, Z., Poklepović, T., & Katalinić, K. (2012). *Best fit model for yield curve estimation* (Vol. III). Croatian Operational Research Review.
- Babone, L., & Forni, L. (1997). Are markets learning? Behavior in the secondary market for Brady Bonds. Washington, DC: Policy Research Working Paper 1734, The World Bank.
- Chirinos, A., & Moreno, M. (2011). *Estimacion de la estructura temporal de las tasas de interes: El caso venezolano*. Caracas: BCV.
- CNMV. (2006). *Guía Informativa de la CNMV: Qué debe saber de los productos de renta fija*. Madrid: Comision Nacional del Mercado de Valores.
- Daza Rivera, A. (2011). *¿Cómo reacciona la estructura temporal de los tipos de interés a los anuncios macroeconómicos? Análisis para Colombia Periodo 2005-2010*. Cali: Universidad del Valle.
- Edwards, S. (1986). *The pricing of bonds and bank loans in International markets: An empirical analysis of developing countries' foreign borrowing*. European Economic Review.
- Fabozzi, F. (1996). *Bond markets, analysis and strategies*. New Jersey: Prentice Hall.
- Fabozzi, F. (2005). *The handbook of fixed income securities*. McGraw-Hill.
- Gitman, L., & Joehnk, M. (2005). *Fundamentos de inversiones*. Pearson Education.
- González, F. (2007). *El efecto del corto plazo sobre la estructura temporal de tasas de interés en México 2003-2007*. Puebla: Universidad de la Américas Puebla.



- Hymas, J. (2007). Modified duration. *Canadian MoneySaver*.
- Juio, J., Mera, S., & Herault, A. (2002). *La curva Spot (Cero cupon) Estimacion con splines cubicos suavizados, usos y ejemplos*. Bogotá: Banco de la Republica Colombia.
- Macaulay, F. (1938). Some theoretical problems suggested by the movement of Interest rates, bond yields and stock prices in the U.S since 1856. New York: National Bureau of Economic Research.
- Maita, M. (2010). *Estimacion de una curva de rendimientos para los bonos de la deuda publica interna en Venezuela*. Caracas: Universidad Catolica Andres Bello.
- Mascareñas, J. (2006). *La medida del riesgo de los bonos*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Modigliani, F., & Sutch, R. (1967). Debt management and the Term Structure of Interest Rate: and empirical analysis of recent experience. *Journal of Political Economy*.
- Nelson, C., & Siegel, A. (1987). Parsimonious modeling of yield curve. Chicago: The Journal of Business.
- Pedauga, L., & Manzanilla, F. (2004). *Dinámica en la curva de rendimientos, un análisis de componentes principales*. Caracas: BCV.
- Rangel, A. (2012). *Spreads de bonos de deuda soberana para paises emergentes: Un ejercicio de análisis factorial para el periodo 1998-2004*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Santana, J. (2008). *La curva de rendimientos: Una revision metodológica y nuevas aproximaciones de estimación*. Bogotá: Cuadernos de Economía.
- Svensson, L. (1994). Estimating and interpreting forward interest rates: Sweden 1992-1994. CEPR Discussion Paper Series, No 1051.
- Valera, E. (2012). *Determinantes del comportamiento de los titulos de deudad externa soberana venezolana. Periodo 1998-2012. Tesis Pregrado*. Caracas: UCAB.